

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Artes e Comunicação
Programa de Pós-Graduação em Design

Gutenberg Xavier da Silva Barros

Diretrizes para o uso da manufatura aditiva como
ferramenta geradora de recursos táteis para
pessoas com deficiência visual: o design como
peça fundamental no processo de inclusão

Recife, 2021

Gutenberg Xavier da Silva Barros

Diretrizes para o uso da manufatura aditiva como
ferramenta geradora de recursos táteis para pessoas com
deficiência visual: o design como peça fundamental no
processo de inclusão

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de doutor em design.

Área de concentração: Planejamento e Contextualização de Artefatos.

Orientador: Prof. Dr. Walter Franklin Marques Correia.

Recife, 2021

Catalogação na fonte
Bibliotecária Mariana de Souza Alves – CRB-4/2105

B277d	<p>Barros, Gutenberg Xavier da Silva</p> <p>Diretrizes para o uso da manufatura aditiva como ferramenta geradora de recursos táteis para pessoas com deficiência visual: o design como peça fundamental no processo de inclusão / Gutenberg Xavier da Silva Barros. – Recife, 2021. 223f.: il., fig., tab.</p> <p>Sob orientação de: Walter Franklin Marques Correia. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Artes e Comunicação. Programa de Pós-Graduação em Design, 2021.</p> <p>Inclui referências.</p> <p>1. Planejamento e Contextualização de Artefatos. 2. Imagens táteis. 3. Impressão 3D. 4. Fused Filament Fabrication. 5. Fabricação por Filamento Fundido. 6. Fused Deposition Modeling. 7. Deposição de Material Fundido. 8. Acessibilidade. I. Correia, Walter Franklin Marques (Orientação). II. Título.</p> <p style="text-align: center;">745.2 CDD (22. ed.) UFPE (CAC 2022-84)</p>
-------	---

GUTENBERG XAVIER DA SILVA BARROS

“DIRETRIZES PARA O USO DA MANUFATURA ADITIVA COMO FERRAMENTA GERADORA DE RECURSOS TÁTEIS PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL: O DESIGN COMO PEÇA FUNDAMENTAL NO PROCESSO DE INCLUSÃO”

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Design.

Aprovada em: 28/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

Participação via Videoconferência

Prof. Dr. João Marcelo Xavier Natário Teixeira (Presidente)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof^a. Dr^a. Auta Luciana Laurentino (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof. Dr. Lucas José Garcia(Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof^a. Dr^a. Letícia Teixeira Mendes (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof^a. Dr^a. Flavia Daniela dos Santos Moreira (Examinadora Externa)
Instituto Benjamin Constant

A todos aqueles que dedicam partes da sua vida a ajudar os demais seres vivos, não importando de quais espécies sejam.

Agradecimentos

Em uma tentativa de criar uma ordem aproximada de entrada neste projeto, agradeço...

A Deus, que se mostrou todas as vezes que me senti impotente diante de algo que parecia impossível.

A minha família, por todo o esforço, sacrifícios, estímulos e dedicação para me colocar no caminho do saber desde a primeira idade.

Aos meus pais, madrinha e todos os mestres que estimularam, trouxeram luz e apontaram os caminhos possíveis.

Ao Voxar pela oportunidade que me deram de aprender sobre este meio, além da confiança, dos grandes ensinamentos e amizades.

A Joma, pela ideia inicial, por todo o incentivo, ajuda, direcionamento e pelo despertar para esta oportunidade de ajudar com o conhecimento adquirido.

A Walter por orientar, cobrar, revisar, acreditar e defender este projeto.

A Alana por todo o suporte, coorientação, consultoria, puxões de orelha, carinho, mimos e paparicadas.

Aos amigos, tanto os presentes quanto os que disseram até logo, pelos ouvidos, pelas orientações, alegrias, experiências memoráveis e suporte quando precisei.

Aos colegas de turma e o sempre acalmador e informador grupo do desespero.

Aos colegas de trabalho, em especial a Ana, que amenizaram as pontas, estimularam e me puxaram quando eu precisava.

A Luci, José Roberto, Michele, Marcela e Antônio por terem confiado na pesquisa e terem aberto as portas das suas segundas casas, mesmo neste período pandêmico.

A Bruno e Adilson, pelo incentivo, amparo, suporte, dedicação e ajuda incondicionais.

E aos 28 voluntários que acreditaram e compartilharam seus tempos, experiências, conhecimentos e alegrias para que este trabalho fosse possível.

“Não vá por onde o caminho possa te levar, vá por onde não haja caminho e deixe uma trilha.”

Ralph Waldo Emerson

"Não aceite as restrições de outras pessoas que afirmam que as coisas são impraticáveis ou imutáveis. Se isso está escrito na rocha, providencie seu martelo e seu cinzel."

Lisa Engelhardt

Resumo

A pesquisa averiguou a literatura científica e ouviu pessoas a respeito da criação de conteúdo tátil para pessoas com deficiência visual. A partir dos dados levantados, foram desenvolvidos e aplicados dois experimentos. O primeiro investigou materiais alternativos para servirem de base para o uso de impressão 3D, como forma de reduzir os custos de produção. Também testou a aderência de diferentes valores de largura, altura e ângulos das linhas de contorno, bem como de diferentes formas geométricas e preenchimentos de superfície sobre estes materiais. O segundo experimento, selecionou os melhores resultados do primeiro estudo e os submeteu a 28 voluntários com deficiência visual utilizando atividades que se baseiam em habilidades cujas bases são utilizadas no dia a dia: localizar e seguir uma linha (exploração), discernir diferentes texturas (discriminação tátil), identificar figuras (compreensão da imagem) e localizar cópias delas (compreensão espacial). Os resultados apontam que é possível utilizar materiais a base de celulose com gramatura entre 120 g/m² e 180 g/m² para apoiar as impressões, em vez de confeccionar uma base para as informações, com economia de 73,01% a 97,87% no tempo de produção e de 87% a 98,88% no consumo de materiais, desde que não haja necessidade de dobradura do conteúdo confeccionado. As larguras ideais para a impressão estão entre 0,8 mm e 1,2 mm. As alturas com melhor desempenho nas atividades junto aos voluntários estão entre 0,2 mm e 0,4 mm. Os ângulos ideais estão entre 0° e 20° em relação a um eixo de torção da folha. As formas devem receber pequenos arredondamentos nas quinas e preferencialmente se alinharem aos ângulos mencionados. A superfície de preenchimento não afeta a aderência. O preenchimento interno (*infill*) pode ser utilizado como gerador de texturas e deve ser ajustado para densidades de 10% até 50%, ou 10% a 90% quando combinadas com outras texturas. A condição de visão (baixa visão ou perda completa) e condição da perda da visão (congenita ou tardia) não influenciaram os resultados. A escolaridade afetou as atividades de identificação de objetos e de localização das suas cópias. Na conclusão, encontra-se uma lista detalhada de recomendações para a produção e aplicação de materiais táteis que vão desde a simplificação das formas ao estímulo ao uso das duas mãos durante a assimilação do conteúdo.

Palavras-chave: imagens táteis; impressão 3D; manufatura aditiva; FFF; FDM; acessibilidade; pessoas com deficiência visual; diretrizes.

Abstract

The survey scanned the scientific literature and heard people about the tactile content creation for visually impaired individuals. From the data collected, two experiments were developed and applied. The first investigated alternative materials to serve as a basis for the use of 3D printing, to reduce production costs. It also evaluated the adherence of different values of width, height, and angles of the contour lines, as well as different geometric shapes and top/bottom fill patterns on these materials. The second experiment selected the best results from the first study and submitted them to 28 visually impaired volunteers using activities on every-day-based skills: locating and following a line (exploration), discerning different textures (tactile discrimination), identifying figures (picture comprehension), and locate copies of them (spatial comprehension). The results show it is possible to use cellulose-based materials weighing between 120 g/m² and 180 g/m² to support the prints instead of making a base for the information, with savings of 73.01% to 97.87% in production time and from 87% to 98.88% in material consumption, if there is no need to fold the manufactured content. The ideal widths for printing are between 0.8 mm and 1.2 mm. The best performance heights in volunteers' activities are between 0.2 mm and 0.4 mm. The ideal angles are between 0° and 20° about a sheet twist axis. The shapes must receive small rounding at the corners and preferably align themselves with the mentioned angles. The top/bottom fill patterns do not affect adhesion. The infill can be used as a texture generator and should be adjusted to densities of 10% to 50%, or 10% to 90% when combined with other textures. Vision status (low vision or complete loss) and vision loss status (congenital blinder or late blinder) did not influence the results. Schooling affected the activities of identifying objects and locating their copies. In the Conclusion section, there is a detailed list of recommendations for the production and application of tactile materials, which range from simplifying forms to encouraging the use of both hands during content assimilation.

Keywords: tactile images; 3D printing; additive manufacturing; FFF; FDM; accessibility; visually impaired people; guidelines.

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

- 3DP: *3D Print* – Impressão Tridimensional (uma das tecnologias de impressão 3D)
- 3DW: Three-Dimensional Welding - Soldagem Tridimensional (uma das tecnologias de impressão 3D)
- ABS: *acrylonitrile butadiene styrene* - estireno butadieno de acrilonitrila
- ACACE: Associação Caruaruense de Cegos
- ANOVA: *analysis of variance* – Análise de variância (técnica estatística)
- APEC: Associação Pernambucana de Cegos
- ASSOBECER: Associação Beneficente dos Cegos do Recife
- ASTM: *American Society for Testing and Materials* – Sociedade Americana para Testes e Materiais
- BANA: *Braille Authority of North America* - Autoridade Braille da América do Norte
- BIS: *Beam Interference Solidification* - Solidificação por Interferência de Feixe
- BPM: *Ballistic Particle Manufacture* - Fabricação por Balística de Partículas
- CAP: Centro de Apoio Pedagógico para Atendimento às Pessoas com Deficiência Visual de Pernambuco
- CML: *Chemical Markup Language* – linguagem de formatação para expressões químicas
- CNC: controle numérico computadorizado - máquina de fabricação subtrativa
- CSV: comma-separated values – valores separados por vírgulas
- DAISY: *Digital Accessible Information System* – Sistema Digital de Informação Acessível
- ES: eletrossecção
- EVA: etil vinil acetado
- FDM: *Fused Deposition Modeling* – Deposição de Material Fundido, termo registrado para FFF
- FFF: *Fused Filament Fabrication* – Fabricação por Filamento Fundido

- G-Code: Código G (uma linguagem de programação para sistemas de comando numérico computadorizado)
- GDP: *Gas Phase Deposition* - Deposição em Fase Gasosa
- GSK: *Graph Sketching Tool* – Ferramenta para Rascunhos Gráficos
- HDP: *high-density plastic* – plástico de alta densidade
- HIS: *Holographic Interface Solidification* - Solidificação de Interferência Holográfica
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- UFPE: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
- ISO: *International Organization for Standardization* – Organização Internacional para Padronização
- LENS: *Laser Engineered Net Shaping* – Fabricação da Forma Final a Laser
- LOM: *laminated object manufacturing* – manufatura de objetos laminados
- LTP: *Liquid Thermal Polymerization* - Polimerização Térmica Líquida
- MDF: *medium density fiberboard* – Prancha de média densidade de partículas de madeira
- MathML: *Math Markup Language* – linguagem de formatação para expressões matemáticas utilizada em páginas web
- N: número de observações/amostras da verificação estatística
- NACE: Núcleo de Acessibilidade da UFPE
- OCR: *optical character recognition* – Reconhecimento ótico de caracteres
- ONU: Organização das Nações Unidas
- PC: policarbonato
- PLA: *polylactic acid* – ácido polilático
- PDV: pessoa com deficiência visual
- PET: *polyethylene terephthalate* - tereftalato de polietileno
- PETG: *polyethylene terephthalate glycol-modified* - tereftalato de polietileno com copolimerização modificada pelo glicol
- PPSF: polifenilsulfona

- PVC: policloreto de vinila
- SDM: *Shape Deposition Manufacturing* - Fabricação por Deposição de Materiais em Formas
- SF: *Spatial Forming* - Conformação Espacial
- SFP: *Solid Foil Polymerization* - Polimerização de Lâminas Sólidas
- SGC: *Solid Ground Curing* - Cura de Base Sólida
- STEM: *science, technology, engineering and mathematic* – ciência, tecnologia, engenharia e matemática, em inglês
- SIGGRAPH: *Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques* – Grupo de Interesse Especial em Computação Gráfica e Técnicas Interativas
- SLA: *stereolithography* - estereolitografia
- SLS: *selective laser sintering* - sinterização seletiva a laser
- SVR: *Symposium on Virtual and Augmented Reality* – Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada
- TNT: tecido não-tecido (fibras sem trama)
- UFPE: Universidade Federal de Pernambuco

Sumário

1	<i>Introdução</i>	15
1.1	Justificativa.....	19
1.2	Organização e seções do trabalho.....	24
2	<i>Hipóteses e objetivos</i>	26
2.1	Hipóteses.....	26
2.2	Objetivo geral.....	26
2.3	Objetivos específicos.....	26
3	<i>Fundamentação teórica</i>	28
3.1	Levantamento inicial.....	28
3.1.1	Resultados e análises	31
3.1.1.1	<i>Autores</i>	32
3.1.1.2	<i>Instituições</i>	33
3.1.1.3	<i>Anos</i>	34
3.1.1.4	<i>Palavras-chave</i>	36
3.1.1.5	<i>Conteúdos</i>	37
3.1.1.5.1	Tecnologia envolvida, funcionalidades e tipo de material didático.....	38
3.1.1.5.2	Tipo de estudo e testes com usuários.....	41
3.1.1.5.3	Resultados.....	41
3.1.2	Conclusões do levantamento	44
3.2	<i>A percepção da imagem</i>	46
3.2.1	Processamento da imagem	46
3.2.2	Percepção tátil	49
3.2.2.1	<i>Identificação</i>	49
3.2.2.2	<i>Texturas</i>	58
3.2.2.3	<i>Perspectiva</i>	59
3.3	<i>Algumas soluções e aplicações</i>	61
3.3.1	Fabricação de conteúdo tátil	69
3.3.2	Iniciativas e práticas	70
3.3.3	Primeiros contatos e experiências pessoais presenciais	72
3.3.3.1	<i>Visitas na APEC</i>	72
3.3.3.1.1	Professores.....	74
3.3.3.2	<i>Oficina de geração de mapas táteis</i>	76

3.3.3.3	<i>Palestra do NACE</i>	79
3.4	Manufatura aditiva	81
3.4.1	Fabricação por Filamento Fundido (FFF)	86
3.4.1.1	<i>Processo</i>	87
3.4.1.2	<i>Características</i>	89
3.4.1.3	<i>Estruturas</i>	90
3.4.1.3.1	Perímetro	90
3.4.1.3.2	Suporte	90
3.4.1.3.3	Preenchimento interno	93
3.4.1.3.4	Superfícies superior e inferior.....	95
3.4.1.3.5	Volume de extrusão.....	95
3.4.1.3.6	Construção das estruturas	96
3.4.1.4	<i>Materiais</i>	97
3.4.1.4.1	PLA	98
3.4.1.5	<i>Aderência entre as camadas</i>	99
3.4.1.5.1	Temperatura	99
3.4.1.5.2	Velocidade	101
3.4.1.5.3	Espessura da camada.....	102
3.4.1.5.4	Preenchimento interno	103
3.4.1.5.5	Compatibilidade entre materiais	104
3.4.1.5.6	Disruptores	104
3.5	Conclusões	105
4	<i>Experimentos (metodologias e resultados)</i>	108
4.1	Mídia de suporte e configurações físicas de impressão	110
4.1.1	Metodologia de localização	110
4.1.2	Metodologia dos testes	111
4.1.2.1	<i>Aderência</i>	117
4.1.2.2	<i>Ângulos</i>	118
4.1.2.3	<i>Superfícies e formas</i>	119
4.1.2.4	<i>Análise dos dados</i>	120
4.1.3	Resultados e análise	120
4.1.3.1	<i>Materiais e impressão</i>	121
4.1.3.2	<i>Aderência</i>	123
4.1.3.2.1	Materiais	124

4.1.3.2.2	Altura	134
4.1.3.2.3	Largura	136
4.1.3.3	Ângulo de torção	138
4.1.3.4	Formas e superfícies	139
4.1.3.4.1	Formas	139
4.1.3.4.2	Superfícies	140
4.1.4	Conclusões	141
4.2	Percepção dos elementos impressos	142
4.2.1	Metodologia	143
4.2.1.1	Público-alvo	144
4.2.1.2	Metodologia dos testes	145
4.2.1.2.1	Escaneamento	146
4.2.1.2.2	Discriminação tátil	149
4.2.1.2.3	Compreensão espacial e da imagem	153
4.2.1.3	Análise dos dados	158
4.2.2	Resultados	159
4.2.2.1	Caracterização do grupo de voluntários	160
4.2.2.2	Observações efetuadas durante a aplicação dos testes	161
4.2.2.2.1	Escaneamento	162
4.2.2.2.2	Discriminação tátil	163
4.2.2.2.3	Compreensão espacial	164
4.2.2.2.4	Compreensão da imagem	164
4.2.2.2.5	Reações gerais dos voluntários	166
4.2.2.3	Alturas impressas	167
4.2.2.3.1	Escaneamento	168
4.2.2.3.2	Compreensão espacial	169
4.2.2.3.3	Compreensão da imagem	171
4.2.2.4	Larguras impressas	173
4.2.2.4.1	Escaneamento	174
4.2.2.4.2	Compreensão espacial	174
4.2.2.4.3	Compreensão da imagem	175
4.2.2.5	Densidade das texturas impressas	176
4.2.2.6	Outros resultados	178
4.2.2.6.1	Condição de visão	178

4.2.2.6.2	Escolaridade	179
4.2.2.6.3	Perda da visão.....	181
4.2.2.6.4	Texturas	182
4.2.2.6.5	Repetição das formas.....	183
4.2.3	Conclusões	183
5	<i>Discussão.....</i>	<i>185</i>
5.1	<i>Materiais</i>	<i>185</i>
5.2	<i>Altura e largura dos contornos impressos</i>	<i>189</i>
5.2.1	<i>Alturas</i>	<i>189</i>
5.2.2	<i>Largura impressa</i>	<i>191</i>
5.3	<i>Ângulos, formas e superfícies</i>	<i>192</i>
5.3.1	<i>Ângulos das linhas.....</i>	<i>193</i>
5.3.2	<i>Formas</i>	<i>193</i>
5.3.3	<i>Superfícies de preenchimento</i>	<i>194</i>
5.4	<i>Percepções das habilidades.....</i>	<i>195</i>
5.4.1	<i>Escaneamento ao seguir linhas.....</i>	<i>195</i>
5.4.2	<i>Discriminação tátil nas diferentes densidades de textura.....</i>	<i>196</i>
5.4.3	<i>Compreensão espacial para localizar cópias</i>	<i>197</i>
5.4.4	<i>Compreensão da imagem.....</i>	<i>199</i>
6	<i>Conclusão</i>	<i>202</i>
6.1	<i>Contribuições e estudos futuros</i>	<i>204</i>
	<i>Referências</i>	<i>209</i>

1 *Introdução*

Como todas as áreas do conhecimento, a essência do Design é alicerçada por elementos fundamentais para sua estrutura conceitual. Bomfim (2001) afirma que o design é orientado por objetivos ideológicos, políticos, sociais, econômicos, entre outros. Ponderando isso, somado ao fato de que definições do design, vagando levemente nas pequenas variações conceituais de cada autor, notoriamente objetivam o progresso e melhoria de vida dos seres vivos, torna-se impossível separar o design industrial destes seres, os quais se tornam, assim, o alvo, o público, o motivo da existência do design.

Com esse pressuposto em mente, considera-se o todo, não discriminando por aspecto ou forma física, espécie, raça nem ideologias e obviamente, para atendê-los, o design não deve separá-los. No entanto, ao mesmo tempo em que não se deve criar preconceitos, a forma de se atender o todo é considerar que ninguém é igual e, assim, conceitos diferenciados são essenciais para satisfazer entidades díspares, as quais apresentam, obviamente, necessidades distintas e especializadas, muitas vezes únicas.

Embora possa ser agrupada e classificada, essa individualidade se torna um desafio para a indústria, já que esta busca o lucro baseando-o na redução de custos pelo aumento da eficiência da produção de peças idênticas, com consequente redução do preço final e acessibilidade econômica ao produto. Seria então um contrassenso considerar características fora de uma pequena faixa aceitável de variação, o que inclui aqueles indivíduos com capacidades reduzidas ou ausentes, por representarem uma minoria numérica. Desta maneira, essa minoria segue frequentemente afastada do foco da produção geral de artefatos, tendo que se adaptar aos objetos produzidos na medida do possível.

Como dito, para o design abarcar o todo da população-alvo, deve considerar as diferenças de cada um, e para a indústria de artefatos, uma produção padronizada se justifica na redução de custos. Em meio a esta dicotomia, muitas empresas, reconhecendo a importância de atender às necessidades específicas dos clientes, recorreram a novos programas e protocolos para garantir uma customização em um nível mais alto de produtividade, de modo a reduzir custos e complexidades dos

procedimentos de criação e fabricação (GILMORE; PINE, 1997). Esta abordagem trabalha sobre a ideia de, desde as fases conceituais iniciais, conceber um design voltado não para um produto, mas para uma família racional de produtos. Isto envolve otimização, sintetização, unificação, integração de componentes, que intercalam, compartilham e reutilizam peças e processos entre si (TSENG; JIAO; MERCHANT, 1996).

Estendendo ainda mais este conceito, entra a manufatura aditiva. Enquanto tecnologia de fabricação, ela é um processo pelo qual as peças são criadas diretamente a partir de modelos matemáticos tridimensionais gerados em computadores e enviados diretamente para a máquina de fabricação, a qual materializa os objetos por adição (não subtração) controlada e sobreposta de materiais (GORNI, 2001; SACHS *et al.*, 1993).

Esta propriedade de adicionar os materiais camada a camada permite que se possa fabricar elementos interiores assim como encaixes em uma só etapa. Porém, por limitações tecnológicas e até conceituais, atualmente a impressão 3D geralmente não é direcionada a uma produção de grandes tiragens (GORNI, 2001; VOLPATO, 2007).

No entanto, pelo seu potencial de manipulação dos arquivos geradores e imediata produção, pode concentrar sua força na produção individual e personalizada de produtos e peças, ao mesmo tempo que mantém a qualidade industrial. Além disto, os modelos podem ser facilmente compartilhados digitalmente e reproduzidos em qualquer local do globo e até fora dele, se considerarmos que pode ser usada na colonização de outros planetas em substituição ao transporte de peças sobressalentes, por exemplo.

Isto em um contexto de fabricação a um custo de implementação muito mais baixo, já que o custo de implementação e operação de uma máquina destas (a qual, muitas vezes não requer um ambiente dedicado e especializado de trabalho, podendo ser instalada até em ambiente doméstico) é muito menor do que seu equivalente industrial em processos tradicionais de fabricação.

Mas tais custos seguem em queda há anos (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Contemplando-se o grau de utilidade destas máquinas com esta queda gradual de valores, não seria utópico esperar que se tornem um eletrodoméstico presente nos lares ao final desta década ou na seguinte.

Portanto, associar a manufatura aditiva e a população com necessidades específicas, o que inclui aqueles com algum tipo de deficiência física, pode gerar novas possibilidades de uso, levando a produtos personalizados com resultados potencialmente animadores e facilmente replicáveis em qualquer local.

Muitas iniciativas já existem neste sentido, como a da comunidade da fundação “e-NABLE” (<http://www.enablecommunityfoundation.org>), cujo website funciona como um ponto central para o envio voluntário e coleta gratuita de arquivos de modelos tridimensionais para a impressão de próteses de baixo custo para braços e mãos. A “exiii” é outro exemplo: uma empresa incubada japonesa, cujos três proprietários criaram três modelos adaptáveis de próteses de mão e antebraço com acionamento eletrônico e custo 50 vezes menor do que os modelos mais tradicionais (AUTODESK, 2016).

Por outro lado, imagens, um componente tão importante da ciência, da tecnologia, da engenharia, da matemática (sigla STEM, em inglês, para *science, technology, engineering and mathematics*) e da educação, não recebem o mesmo tratamento.

O Braille, um método de escrita criado por Louis Braille em 1824 que recebeu várias revisões e acréscimos ao longo dos anos, é hoje o principal meio de comunicação não-auditiva para usuários com redução ou ausência de capacidade visual. Ele se utiliza de uma matriz de 2 por 3 pontos, chamada de célula, para representar letras, números, sinais de pontuação e musicais através da existência e posição relativa destes pontos. Ele pode descrever uma cena, mas dificilmente palavras atingem o mesmo potencial de um desenho para transmitir uma ideia.

Restringindo a tópicos artísticos, o Braille não consegue transmitir as formas da imagem. Mesmo a audiodescrição utiliza palavras para tentar traduzir o significado da figura, ou seja, basicamente a mesma abordagem textual, a qual se mostra ineficiente para apresentar as nuances e os “erros” de um rabisco, ferramenta poderosa para incitar novas ideias.

Assim, considerando a ideia da redução de custos das impressoras 3D, sua capacidade de materializar formas complexas e personalizadas, além do fato de elas serem mais versáteis do que uma impressora de Braille, a prototipagem rápida tridimensional tem potencial para suplantar esse problema da transmissão de ideias visuais (SPIRANDELLI *et al.*, 2021).

Nessa direção, pode-se citar os exemplos de uso de Marc Dillon, que recriou obras de arte, como a Mona Lisa e os girassóis de Van Gogh, em versões tridimensionais, a partir de impressão 3D utilizando areia e aglutinantes (HYPENESS, 2015b); e da *startup* espanhola Durero, que desenvolveu um processo pelo qual, utilizando tintas e processos químicos específicos sobre uma fotografia editada especialmente para esta razão, uma imagem adquire um pequeno relevo (HYPENESS, 2015a).

São iniciativas com boas soluções, mas que exigem trabalho específico e preparação da superfície ou confecção personalizada do produto-objetivo. Este problema já aparece melhor resolvido no estudo de Swaminathan *et al.* (2016), pelo qual pessoas com deficiências visuais podem definir e perceber mapas cujo conteúdo pode ser filtrado e escolhido por comando de voz no momento do uso (Figura 1:1). Estas ações de se prover acessibilidade estão nos seus primeiros passos, com problemas e restrições a serem resolvidas.

Muito caminho ainda precisa ser percorrido, muitas ideias ainda precisam ser geradas, absorvidas e transformadas em prática para que pessoas com deficiências visuais possam transitar e agir sem restrições e, assim, possam trazer à tona todo o seu potencial. É necessário escutá-los e aprender/compreender suas necessidades para atendê-las.

Figura 1:1 Iniciativas de acessibilidade a imagens. À esquerda, modelo tridimensional impresso. Ao centro, processo químico sobre fotografia preparada. À direita, uso de impressora 3D na impressão de mapas para pessoas com deficiência visual.



Fonte: HYPENESS (2015b) (esquerda), HYPENESS (2015a) (centro), SWAMINATHAN *et al.* (2016) (direita).

Com base nas considerações apresentadas anteriormente, surgiu o questionamento: sob quais parâmetros de configuração o uso da impressão 3D pode se tornar mais barata e favorecer a percepção de material bidimensional¹ de origem visual de modo a facilitar o seu entendimento? Esta é a questão que norteou este trabalho. Uma vez localizados, acredita-se que a difusão destes parâmetros possa favorecer um aumento do fluxo de compartilhamento de informações originalmente visuais para pessoas com deficiências que potencialize a compreensão.

Esta ideia surgiu após a construção de dois artigos. O primeiro, recebeu o prêmio Best Short Paper de 2016 no *Symposium on Virtual and Augmented Reality* (SVR), o maior congresso de realidade virtual e aumentada do Brasil, ao traduzir linhas desenhadas em papel em linhas impressas em manufatura aditiva. O segundo artigo estendia o primeiro ao adicionar sons ao material. Ele foi aprovado como um poster no grupo de interesse especial da *Association for Computing Machinery*, a SIGGRAPH do mesmo ano, o maior e mais influente simpósio de computação gráfica do mundo.

À época, provou-se ser possível a construção, mas restavam as dúvidas: quais as dimensões ideais de fabricação e a quais delas as pessoas com deficiência visual melhor responderiam? Partindo deste questionamento, seguiu esta jornada que ganha corpo físico com este trabalho.

1.1 Justificativa

A carência de informação das pessoas com deficiências visuais tem sido suprimida até hoje pelo uso da escrita e leitura manual em Braille, a qual evoluiu para equipamentos que visam a melhoria desse processo, como as impressoras para Braille, aparelhos muito específicos que se limitam a caracteres, não conseguem reproduzir ilustrações, e possuem um alto custo de aquisição: dois a cinco mil dólares (APURVA; THAKUR; MISRA, 2017), podendo chegar a valores entre dez e oitenta mil

¹ Apesar de todo material produzido por manufatura aditiva apresentar três dimensões, neste trabalho será considerado como bidimensional aquelas imagens que se utilizam de linhas de contorno (e/ou texturas ou cores para preenchê-las) para representar objetos tridimensionais. São imagens que comumente são encontradas impressas por tinta, lápis e outros instrumentos. No caso das imagens impressas em 3D, estas linhas de contorno sofrem uma extrusão paralela conferindo pequena altura sem com este processo distorcer ou dar novas formas às linhas.

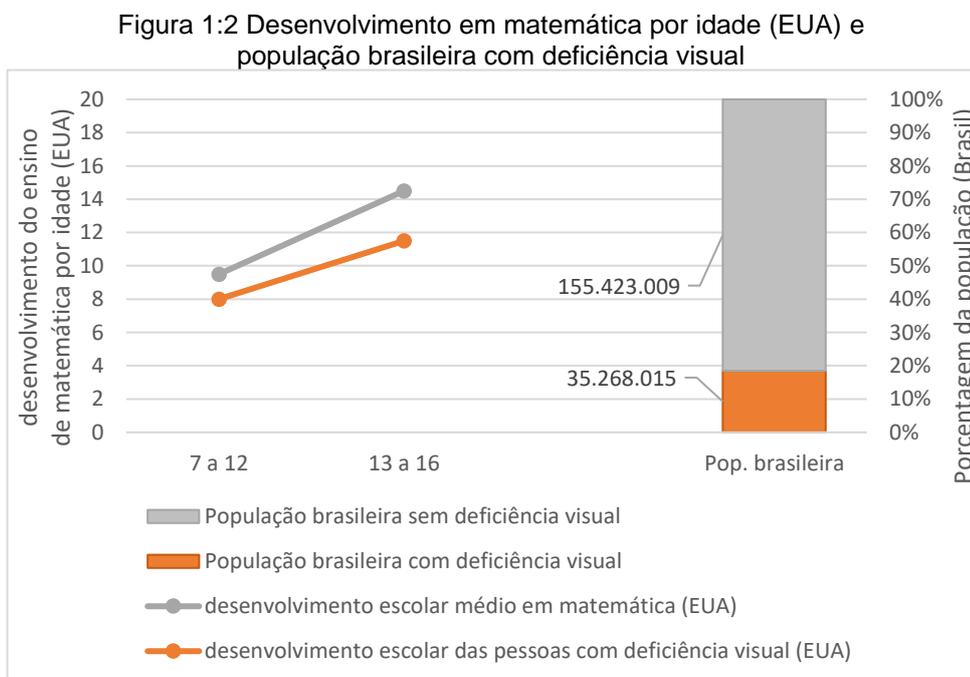
dólares, quando há a necessidade de grandes volumes de impressão (AMERICAN FOUNDATION FOR THE BLINDERS, [s. d.]).

Os monitores táteis, as Linhas Braille, os tradutores de Braille, os leitores de tela e a audiodescrição são outros exemplos de tecnologias assistivas. Além das telas táteis, as quais se limitam a uma baixa resolução, os demais sistemas mantêm a ideia no campo das palavras e, assim, a comunicação, a transmissão e a discussão de novos conceitos são limitadas a este recurso.

Estatísticas estadunidenses demonstram problemas no aprendizado de pessoas com deficiências visuais: o grau de atraso em matemática em relação aos videntes alcança 1,5 anos na faixa etária de 7 a 12 anos e três anos na faixa dos 13 a 16 anos, por exemplo (Figura 1:2).

O elevado grau de desemprego e as especificidades destes indivíduos faz com que o conhecimento do Braille não seja suficiente para motivar um educando, sobretudo nos estágios iniciais do seu aprendizado (HASPER *et al.*, 2015).

O impacto é reforçado ao considerar que, no censo de 2010, 18,49% da população brasileira (35.268.015 pessoas) reportou ter dificuldades para enxergar. Quase um quinto do total (IBGE, 2010).



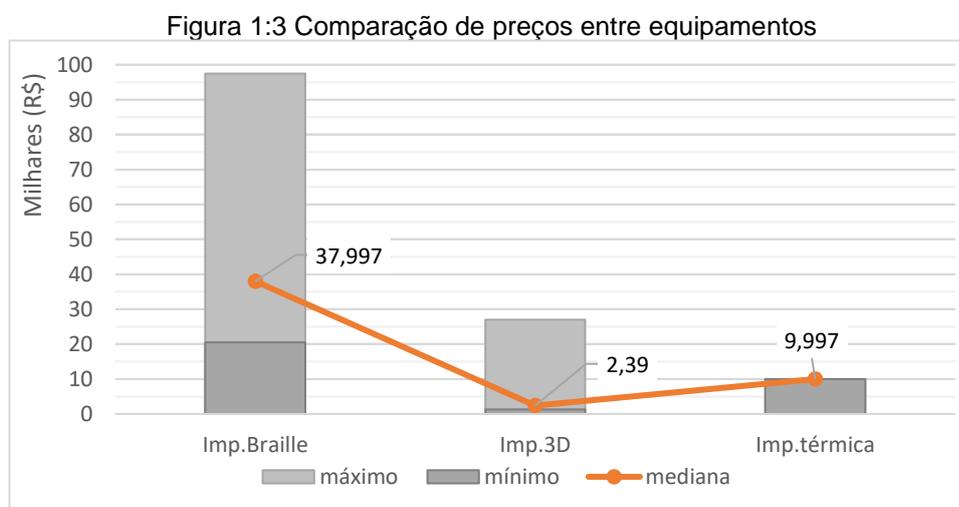
Fonte: adaptado de HASPER *et al.* (2015) e de IBGE (2010).

Quando a educação se baseia apenas em palavras escritas em tinta, o educando com deficiência visual pode se sentir desestimulado a enfrentar as dificuldades do aprendizado das áreas da STEM, disciplinas do conhecimento com uso intenso de fotografias, gráficos e outras formas de representação visual (HASPER *et al.*, 2015).

Assim, um pequeno esforço em incorporar imagens táteis pode resultar em aumento do interesse tanto dos estudantes videntes quanto dos indivíduos com deficiências visuais (HASPER *et al.*, 2015; STANGL; HSU; YEH, 2015).

De outro lado, o uso da prototipagem rápida aditiva, também conhecida como impressão 3D, para produção de objetos mecânicos na intenção de compensar deficiências físico-motoras já é uma realidade, embora ainda pouco utilizada, devido aos preços destas impressoras.

Porém, quando se verifica este preço (AMAZON, 2020; BUSCAPE, 2021) e os compara ao das impressoras para Braille (AMERICAN FOUNDATION FOR THE BLINDERS, [s. d.]), especialmente se utilizando nesta comparação as impressoras 3D que fazem uso da tecnologia FFF (*Fused Filament Fabrication* – Fabricação por Filamento Fundido), percebe-se que as impressoras 3D têm o potencial de se tornar uma opção mais acessível economicamente, uma vez que podem custar até quatro vezes menos (LOCONSOLE *et al.*, 2016). A Figura 1:3 mostra uma comparação de



Fonte: o autor, baseado em preços encontrados nos sites Buscapé¹ e Mundo da Lupa²

preços entre impressoras Braille, impressoras 3D e uma impressora térmica efetuada em novembro de 2021.

Há uma grande oportunidade nas impressoras 3D pelo seu baixo custo e, ao contrário dos métodos tradicionais de produção (impressoras de estampagem, termoformagem, artesanato, entre outros), elas permitem a rápida produção e, principalmente, a reprodução de formas sólidas e figuras táteis personalizadas bi e tridimensionais, contra as tradicionais composições de materiais com texturas diferenciadas com tiragem limitada, replicadas uma a uma, muitas vezes frágeis e de qualidade dependente do artesão, ou a produção de conteúdo exclusivo em Braille.

Apesar da crescente popularidade, a complexidade da tarefa de concepção do artefato cria uma barreira ao uso dessas impressoras na criação deste tipo de material (STANGL; HSU; YEH, 2015).

No entanto, simultaneamente, o número de repositórios gratuitos de objetos prontos para impressão é grande e não está estabilizado. *Websites* como o Cults 3D (<https://cults3d.com/>), o Thingiverse (<https://www.thingiverse.com>), o Prusa Printers (<https://www.prusaprinters.org>), o My Mini Factory (<https://www.myminifactory.com>), o GrabCAD (<https://grabcad.com>), entre outros, disponibilizam milhares de modelos com ampliação diária desta quantidade. O número de objetos é tamanho que foi criado um indexador próprio, o Thangs (<https://thangs.com>) para catalogá-los em diferentes locais e unificar o resultado de uma busca por objetos a serem impressos, além de ele próprio também atuar como repositório.

Desta maneira, a confecção de material tátil por manufatura aditiva oferece o potencial de compartilhamento de material desenvolvido por todo o mundo para todos os continentes, acessível através da internet. Porém, definir configurações para que o material tátil seja bem percebido pelos usuários é uma ação que deve anteceder ou acompanhar esta produção e distribuição (mesmo existindo muitas figuras tridimensionais nestes locais, a presença de imagens bidimensionais é baixa, menor ainda àquelas destinadas a auxiliar pessoas com deficiência visual).

A produção de material tátil bidimensional é crucial para o desenvolvimento de habilidades necessárias ao dia a dia e à educação de pessoas com deficiência

² (BUSCAPE, 2021)

³ (MUNDO DA LUPA, 2021a, b)

visual (MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016). Mas o processo de impressão se alonga ao incluir estruturas que seriam mais eficientes se construídas em outros materiais.

Por exemplo, as asas de um aeromodelo quando impressas, apresentam uma textura típica do processo de impressão em camadas da manufatura aditiva, algo indesejado para uma peça que requer o mínimo de resistência aérea. Por isto, a combinação da construção de uma estrutura interna impressa e uma chapa de um polímero liso e resistente curvada sobre esta estrutura traria o melhor dos dois processos ao unir eficiência e velocidade de produção.

Da mesma maneira, imprimir qualquer material para leitura visual ou tátil leva à criação de uma base para receber os elementos informativos. Apesar da informação ser o objetivo principal da fabricação da peça, a base gera uma desproporcional adição no tempo de impressão e no consumo de material, problema também percebido por Loconsole *et al.* (2016) no estudo de produção de textos em Braille com impressão 3D. Assim, combinar materiais pode ser uma via para o ganho de eficiência da produção de conhecimento, incluindo aí a informação tátil.

Desta maneira, esta pesquisa busca dar bases para que o design contribua com a redução da lacuna existente entre pessoas com deficiências visuais e os demais indivíduos no que se refere à compreensão da comunicação visual ilustrativa, utilizando para isso, tecnologias de prototipagem rápida aditiva para permitir maior acesso, difusão e criação de informação. Ao mesmo tempo, investiga uma maneira de reduzir o tempo e consumo de material na confecção destes elementos ao combinar a impressão com elementos previamente fabricados como base.

Neste trabalho, buscar-se-á descobrir, do ponto de vista construtivo, quais parâmetros de confecção podem aliar uma fabricação de baixo custo com uma boa compreensão da informação tátil por uma pessoa com deficiência visual (PDV).

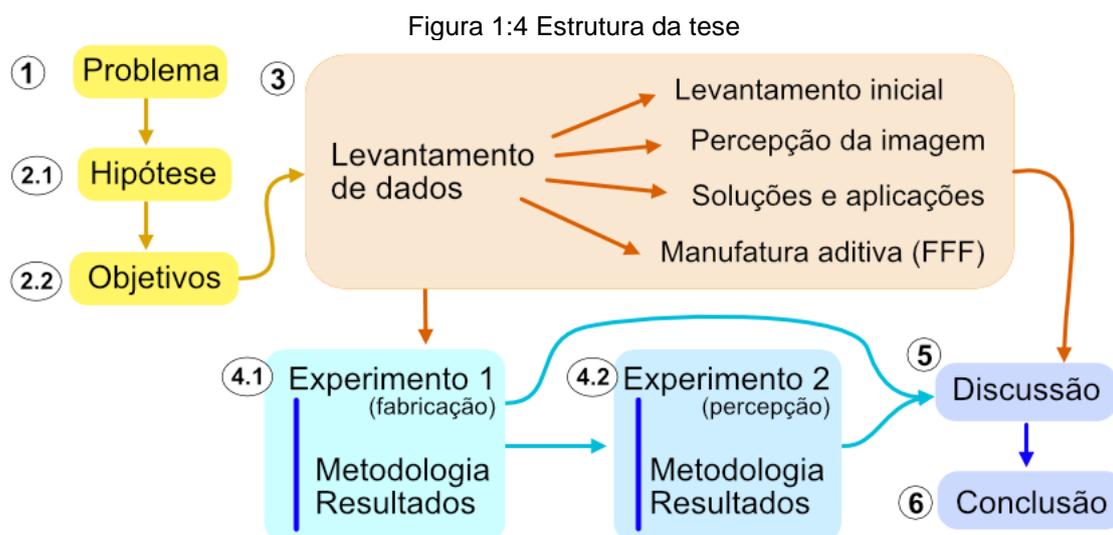
Como resultado, espera-se criar uma base de conhecimento para que os designers e outros profissionais possam criar informações tactualmente melhor compreensíveis e, assim, a longo prazo, possam influenciar na inserção das PDVs em cursos superiores de tecnologia e na inserção no mercado de trabalho em posições mais favorecidas. Ao mesmo tempo, novos feedbacks fornecerão insumos para melhorias dos parâmetros de impressão, bem como do uso desta tecnologia.

Indivíduos videntes (aqueles que podem enxergar e compreender as imagens, mesmo auxiliados por lentes) poderão compartilhar os mesmos benefícios, embora em uma proporção mais reduzida. Como consequência, acredita-se que haverá melhorias de estímulo no processo geral de ensino/aprendizagem.

1.2 Organização e seções do trabalho

Diversas metodologias de design se interceptam em pontos comuns: o levantamento inicial das informações, o levantamento de dados (de usuários, de tecnologias, e de concorrentes e similares), a definição de pré-requisitos projetuais, a geração de alternativas para o problema, seguida da escolha e otimização da alternativa a ser desenvolvida, a apresentação da solução final, e o *feedback* pós-implantação, dando entrada em um novo ciclo de desenvolvimento.

Esta pesquisa foi organizada de maneira semelhante, e tal estrutura é ilustrada na Figura 1:4. Ela inicia com a apresentação das hipóteses e objetivos no capítulo 2, na página 26. O capítulo 3, Fundamentação teórica, na página 28, apresenta o levantamento de dados. Ele se subdivide em quatro partes: (1) um levantamento bibliográfico para uma visão inicial da área; (2) um levantamento bibliográfico de como as imagens (visuais e táteis) são percebidas e processadas



pelas pessoas; (3) relatos de experimentos científicos que buscaram solucionar problemas práticos, e resoluções de problemas do dia a dia utilizando ou reaproveitando materiais acessíveis, que foram encontradas e vivenciadas e práticas em visitas, palestras, conversas e oficinas; e (4) o processo de fabricação através da tecnologia de impressão a ser utilizada.

Estes pontos foram observados na preparação dos testes, apresentados no capítulo 4, Experimentos, a partir da página 108. Ele se divide em duas experiências principais: (a) o processo de fabricação, um levantamento de diferentes configurações de impressão sobre diferentes materiais que servem de base para o material tátil; e (b) junto a voluntários, um estudo comparativo da percepção das pessoas sobre o material tátil impresso com diferentes configurações. As etapas destes testes (metodologia e resultados) são apresentadas separadamente por experimento.

Ao final, se tem a discussão dos resultados (Capítulo 5, a partir da página 185) e as conclusões gerais com sugestões de atividades futuras, no capítulo 6, a partir da página 202.

2 Hipóteses e objetivos

Frente aos problemas e à justificativa citados anteriormente, chegou-se à formulação da hipótese a ser avaliada e, a partir dela, à construção dos objetivos a serem perseguidos. Estes aspectos que nortearão a pesquisa são apresentados a seguir.

2.1 Hipóteses

Dois pontos principais serão investigados. O primeiro é que é possível imprimir imagens táteis utilizando filamento sobre outros materiais pré-fabricados mantendo a aderência das informações produzidas e, sem a necessidade de fabricar uma base, reduzindo os custos com tempo e materiais.

No outro, supõe-se que a legibilidade das imagens táteis é dependente das configurações de largura e altura das linhas de contorno e da densidade das texturas impressas.

2.2 Objetivo geral

Determinar os parâmetros ideais para a construção de ilustrações táteis por manufatura aditiva, visando promover uma boa legibilidade e baixo custo de tempo e de materiais, no intuito de facilitar a disseminação do uso de imagens táteis que sejam eficientes para a percepção por pessoas com deficiência visual.

2.3 Objetivos específicos

Como citado, esta pesquisa se restringe às características e dimensões dos materiais e da manufatura por *Fused Filament Fabrication* (FFF). Essa tecnologia foi escolhida por ser atualmente a mais acessível financeiramente, dentre as de

impressão tridimensional. A relação financeira se torna mais vantajosa quando comparada aos preços dos equipamentos normalmente utilizados para criação de informações em Braille por exemplo, os quais podem chegar ao quádruplo ou mesmo ao décuplo do preço de uma impressora. Assim, visando facilitar uma futura disseminação dos conhecimentos aqui levantados, o foco recai em soluções e procedimentos de baixo custo e de fácil replicabilidade.

Para alcançar o objetivo da pesquisa, outros menores precisam ser atingidos para se agrupar os elementos necessários para a avaliação das hipóteses. Estes objetivos específicos podem ser resumidos nos tópicos seguintes.

- (1) Avaliar o desempenho de materiais de baixo custo como base para produção de imagens táteis com manufatura aditiva.
- (2) Comparar a aderência de diferentes configurações de altura e largura das linhas de contorno, formas geométricas, superfícies de contato sobre diferentes materiais.
- (3) Avaliar, junto a pessoas com deficiência visual, o desempenho de diferentes configurações de altura e largura das linhas de contorno, bem como da densidade de texturas em atividades relacionadas ao uso de imagens táteis.
- (4) Enunciar os materiais e as configurações de altura e largura das linhas de contorno, bem como da densidade de texturas indicadas para a produção de material tátil com manufatura aditiva.

3 *Fundamentação teórica*

Neste levantamento, buscou-se obter dados de diferentes pontos de vista. O primeiro passo foi descobrir a posição das tecnologias atuais, quais seriam e como estão sendo utilizadas. O capítulo “3.1 Levantamento inicial” trata destas informações.

Em uma segunda linha, foram localizadas pesquisas nas áreas de psicologia, design e mecânica, acerca dos assuntos tangentes ao tema. Da psicologia, vieram conhecimentos acerca das pessoas: como se dá a percepção da imagem visual e tátil? Estes dados se encontram no capítulo “3.2 A percepção da imagem”. Neste tópico, também se encontram soluções diversas encontradas em estudos científicos.

No entanto, como os problemas abordados nos capítulos introdutórios deste trabalho acontecem por todo o mundo, levam a soluções diversas que se utilizam do que estiver ao alcance em um esforço por ajudar as pessoas com deficiência visual o mais rápido possível. Algumas destas soluções se utilizam de bastante tecnologia; outras, dos materiais mais acessíveis. Assim, o tópico “3.3 Algumas soluções e aplicações” busca dar voz a algumas destas experiências. São relatos, iniciativas e alguns artigos, experimentos isolados que apresentaram soluções que são utilizadas no dia a dia, os quais foram encontrados e visualizados ao longo desta pesquisa.

O capítulo seguinte, “3.4 Manufatura aditiva”, avalia as tecnologias envolvidas no processo de manufatura aditiva. Para isto, adentra na mecânica que envolve este tipo de fabricação através da tecnologia Fabricação de Filamento Fundido, a qual forma a base da produção de conteúdo pretendida, para ajudar a determinar os parâmetros ideais para os experimentos.

Isto posto, as próximas seções apresentarão os itens citados, os quais compõem a fundamentação teórica para este trabalho.

3.1 *Levantamento inicial*

No início da pesquisa, foi realizado um levantamento da literatura científica. Na época, 18 de abril de 2017, o objetivo era descobrir como as ferramentas existentes naquele momento tratavam a transmissão de informações para pessoas

com deficiências visuais para as STEMs. Os resultados são apresentados neste tópico.

Como instrumento para localizar os artigos, foi utilizado o motor de buscas de documentos científicos Scopus (www.scopus.com), uma ferramenta capaz de buscar em diversas bases de dados científicos em uma única requisição e agrupar os resultados em um único local.

Foram utilizados três termos para a busca: *blind* (cego), *visually impaired* (deficiente visual) e STEM (sigla para *Science, Technology, Engineering, Mathematics* - termos em inglês para ciência, tecnologia, engenharia e matemática, respectivamente).

Duas combinações foram aplicadas ao motor de busca: *blind stem* e *visually impaired stem*. Os resultados foram restritos aos 5 anos anteriores, ou seja, todos os textos publicados até 2011 foram descartados. Desta maneira, as *strings* geradas para a busca foram:

- TITLE-ABS-KEY (blind AND stem) AND PUBYEAR > 2011
- TITLE-ABS-KEY (visually AND impaired AND stem) AND PUBYEAR > 2011

Os artigos localizados foram exportados em formato “CSV (Excel)” com as opções “EID” e “Volume, Issue, Pages” excetuadas e “Author Keywords” e “Abstract” acrescentadas. A planilha gerada foi aberta em um software próprio para edição de planilhas eletrônicas e então organizada.

Os dados dos artigos posicionados na planilha permitiram uma visualização e análise geral e assim, foram filtrados em duas etapas. Na primeira, foram excluídos aqueles cujos títulos e resumos que não condiziam com o objetivo desta pesquisa, mas a eliminação por título só se deu quando ele era evidentemente destoante da área desejada, como aconteceu com os materiais que tratavam de doenças e tratamentos nos órgãos da visão.

Finalmente, dentre as publicações restantes, foram eliminadas aquelas que apresentaram conteúdo díspar do objetivo, ou seja, não apresentaram ferramentas ou tecnologias para o ensino de STEM para as pessoas com deficiências visuais.

Após a filtragem, os dados foram reunidos em outra planilha eletrônica. As publicações em duplicata foram localizadas e descartadas e a partir de então foram

criadas oito tabelas com listagens automatizadas, das quais sete lidavam com metadados dos documentos e a última analisava seus conteúdos.

A listagem 1 separou as palavras-chave que os autores escolheram para suas publicações e o número em que cada uma era encontrada. A listagem 2 continha o número de publicações ocorridas em cada ano. A listagem 3 relacionou os autores e quantas vezes cada um deles publicou, dentro do tema buscado, nos anos determinados. A listagem 4 contabilizou o número de documentos em duplicata, tanto os aceitos quanto os rejeitados, e a 5, o número de documentos filtrados em cada uma das maneiras acima descritas. O número de publicações por país constava na listagem 6 e estes dados foram detalhados na listagem 7, onde os números da 6 foram distribuídos pelos anos.

Por fim, a listagem 8, a mais importante, relacionou os dados encontrados nos textos das publicações. Nesta listagem foram catalogados os títulos (para identificação dos documentos), as tecnologias envolvidas, as funcionalidades, o tipo de material didático ou conteúdo abordado, se houve testes com usuários, quais tipos de usuários e qual a quantidade de indivíduos testados, o tipo de estudo (transversal - avaliação isolada, ou longitudinal - testes de longo prazo), se houve aplicação com grupo de controle, quais foram os resultados principais, as limitações e as conclusões dos estudos. A Tabela 3:1 lista a relação dos agrupamentos dos dados que foram organizados.

Tabela 3:1 Relação dos conteúdos agrupados em cada listagem de análise.

Listagem	Conteúdo
1	Palavras-Chave dos autores
2	Anos de publicação
3	Autores
4	Número de documentos duplicados
5	Número de documentos rejeitados em cada filtragem
6	Número de publicações por país
7	Número de publicações por país, por ano
8	Abordagem do conteúdo Título Tecnologia Funcionalidades

Listagem	Conteúdo
	Tipo de material didático
	Houve testes com usuários?
	Tipo de usuário
	Número de usuários testados
	Tipo de estudo
	Houve grupo de controle?
	Resultados principais
	Limitações
	Conclusões

Fonte: o autor

Os dados relacionados foram utilizados nas análises e estão descritos nas seções correspondentes, no próximo tópico deste estudo.

3.1.1 Resultados e análises

A partir da *string* de pesquisa 1, TITLE-ABS-KEY (blind AND stem) AND PUBYEAR > 2011, foram localizados 605 artigos. Com a *string* 2, TITLE-ABS-KEY (visually AND impaired AND stem) AND PUBYEAR > 2011, foram adicionadas 27 publicações.

Deste total de 632 documentos, 589 foram excluídos pelo título, os quais em sua maioria correspondiam a textos da área médica relacionada a tratamento de problemas de visão e a substâncias químicas. 15 documentos foram eliminados na segunda filtragem, pelo resumo, ou seja, apenas pelo título não foi possível identificar se atendia ou não ao objetivo deste estudo. 4 publicações foram eliminadas pelo conteúdo, já que nem pelo título nem pelo resumo foi possível dissociá-las ao desenvolvimento de ferramentas para o ensino de STEM a pessoas com deficiências visuais.

Após a filtragem, percebeu-se que quatro documentos aceitos estavam duplicados. Dentre os rejeitados, havia o dobro. Eles foram sinalizados na planilha de maneira que as fórmulas de mineração para geração das listagens os ignoraram. Desta maneira, após o processo de filtragem, o número total de documentos a serem analisados fechou em 12 publicações. A Tabela 3:2 resume e apresenta esses quantitativos descritos.

Tabela 3:2 Número de publicações encontradas e eliminados.

Etapa	Número de publicações
<i>string</i> 1	605
<i>string</i> 2	27
filtragem por título	-589
filtragem por assunto	-15
filtragem por conteúdo	-4
separação das duplicatas aceitas	-4
separação das duplicatas rejeitadas	-8
total	12

Fonte: o autor

Os itens a seguir expõem os resultados encontrados nos metadados dos documentos, agrupados pelas listagens 1 a 8, após a filtragem.

3.1.1.1 Autores

Foram encontrados 40 autores diferentes nos 12 textos, apresentados na Tabela 3:3. Na maioria dos aprovados, o número de autores por publicação se estabeleceu em três ou quatro, mas a abrangência total variou entre dois e cinco autores. Dentre os artigos rejeitados, um chamou atenção por possuir 24 criadores.

Tabela 3:3 Ocorrência dos autores das publicações aceitas.

Autores	Núm.	Autores	Núm.	Autores	Núm.	Autores	Núm.
Balik	2	Duerstock	1	Lewis	1	Sigler	1
Mealin	2	Edwards	1	Lombardi	1	Smith	1
Rodman	2	Fantin	1	Lozano	1	Sorge	1
Stallmann	2	Fischer	1	Maes	1	Supalo	1
Brown	1	Glatz	1	Miele	1	Sutton	1
Chagab	1	Huang	1	Moore	1	Talis	1
Chiu	1	Hwang	1	Namdev	1	Wachs	1
Coughlan	1	Isaacson	1	Osterhaus	1	Wang	1

Autores	Núm.	Autores	Núm.	Autores	Núm.	Autores	Núm.
Daumann	1	Lahav	1	Park	1	Wilkinson	1
Dooley	1	Lee	1	Shen	1	Zhang	1

Fonte: o autor

Apenas quatro elaboradores aparecem em mais de uma publicação, na verdade em duas: Suzanne Balik, Sean Mealin, Matthias Stallmann e Robert Rodman. Considerando o baixo número total de publicações após a filtragem, a recorrência não era esperada. No entanto, conferindo os conteúdos dos dois artigos, percebe-se que são complementares. Um apresenta uma tecnologia, enquanto o outro, os testes com usuários.

3.1.1.2 Instituições

Os estudos foram desenvolvidos em 15 instituições, alguns deles em cooperação internacional. Assim como ocorreu com os autores, apenas dois centros apresentaram mais de uma publicação dentre os textos aprovados por este levantamento: North Carolina State University e Purdue University, ambos nos EUA. A lista completa das instituições encontradas nas publicações aceitas pela filtragem pode ser conferida na Tabela 3:4.

Tabela 3:4 Instituições de realização dos estudos.

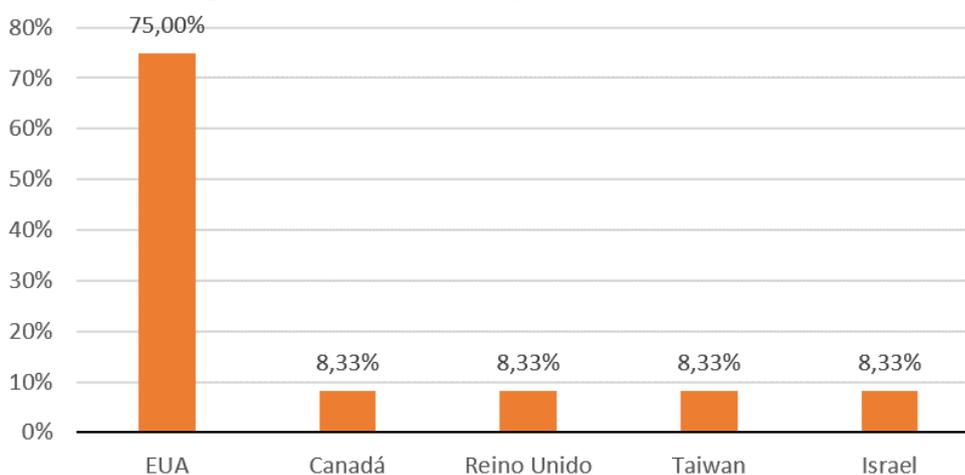
Universidade / Instituto / Companhia	País	Total	%
North Carolina State University	EUA	2	11,76%
Purdue University	EUA	2	11,76%
California Polytechnic State University	EUA	1	5,88%
Massachusetts Institute of Technology	EUA	1	5,88%
National Applied Research Laboratories	Taiwan	1	5,88%
National Tsing Hua University	Taiwan	1	5,88%
Pearson	EUA	1	5,88%
School of Education	Israel	1	5,88%
Texas School for the Blind and Visually Impaired	EUA	1	5,88%
The Smith-Kettlewell Eye Research Institute	EUA	1	5,88%

Universidade / Instituto / Companhia	País	Total	%
University of Birmingham	Reino Unido	1	5,88%
University of California	EUA	1	5,88%
University of Colorado Boulder	EUA	1	5,88%
University of Toronto	Canadá	1	5,88%
University of Utah	EUA	1	5,88%

Fonte: o autor

O local das instituições variou por cinco países: EUA, com 75% dos textos (9 deles, pois um dos textos foi construído em conjunto com a instituição canadense), é de longe o país com maior quantidade de documentos aceitos. Todos os demais apresentaram apenas 1 documento cada, uma participação de aproximadamente 8,33%, considerando as cooperações entre instituições de diferentes países em um mesmo estudo. Foram eles Canadá, Israel, Reino Unido e Taiwan, conforme mostrado na Figura 3:1.

Figura 3:1 Local das instituições de desenvolvimento.



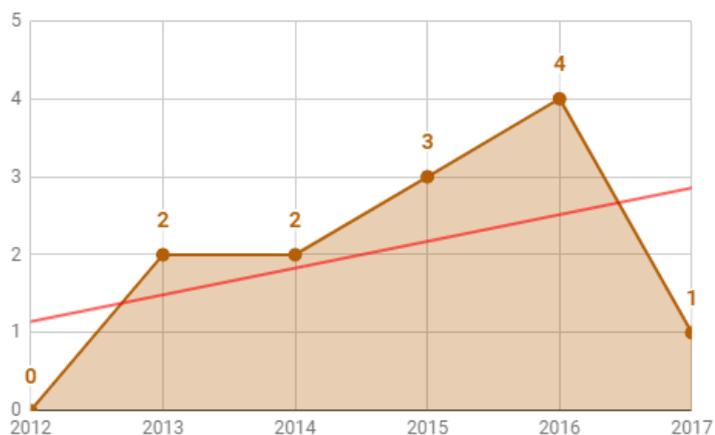
Fonte: o autor

3.1.1.3 Anos

Se a amostragem fosse estatisticamente válida, poder-se-ia afirmar que há um aumento crescente do interesse na área ao longo dos anos, como pode ser percebido pela linha de tendência (em vermelho) da Figura 3:2. De 2012 não foram encontrados textos. Eles começam a surgir em 2013 com 2 representantes (16,67%).

O número se iguala em 2014, e cresce em 2015 (3: 25%) e 2016 (4: 33,33%). Na época do levantamento, ainda era cedo para determinar a incidência em 2017 e até então apenas um documento havia sido encontrado (8,33%).

Figura 3:2 Evolução do número de publicações.



Fonte: o autor

Cruzando estes dados com as informações de cada país onde as instituições de pesquisa estão, obtêm-se a Tabela 3:5, apresentando a distribuição dos documentos pelos anos, mas as separando pelos locais. Por ela fica mais fácil perceber como 2016 e 2015 apresentam maior incidência de publicações pelos países. Os EUA tiveram seu ponto máximo de publicação em 2016. Este último ano foi um dos principais para os outros países, mas 2015 foi o primeiro momento de pulverização das pesquisas pelo globo.

Tabela 3:5 Ocorrência dos estudos no tempo e espaço

País X Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017
EUA	0	2	2	1	3	1
Canadá	0	0	0	0	1	0
Reino Unido	0	0	0	1	0	0
Taiwan	0	0	0	1	0	0
Israel	0	0	0	0	1	0

Fonte: o autor

3.1.1.4 Palavras-chave

Os autores dos documentos utilizaram, ao todo, 65 termos para que suas publicações fossem achadas. Deles, 49 distintos. Os mais comuns foram *Access*, com 6 aparições (9,23%), *Accessibility*, com 4 (6,15%), e *STEM* e *Chemistry* com 3 ocorrências (4,62%, cada). *Universal Design*, *Blindness*, *Braille* e *Computer-Based Learning* aparecem duas vezes cada (3,08%). Todos os outros termos ocorrem apenas uma vez (1,54%, cada) e podem ser visualizados na relação da Tabela 3:6.

Tabela 3:6 Lista de palavras-chave dos autores.

Palavras-chave	Núm.	%	Palavras-chave	Núm.	%
Access	6	9,23%	Hands-On Learning/Manipulatives	1	1,54%
Accessibility	4	6,15%	Haptics	1	1,54%
Chemistry	3	4,62%	High School/Introductory Chemistry	1	1,54%
STEM	3	4,62%	Image perception	1	1,54%
Blindness	2	3,08%	Image transformation	1	1,54%
Braille	2	3,08%	Interactive science simulation	1	1,54%
Computer-Based Learning	2	3,08%	Internet/Web-Based Learning	1	1,54%
Universal Design	2	3,08%	Laboratory Equipment/Apparatus	1	1,54%
Learning	1	1,54%	Low vision	1	1,54%
Accessible diagrams	1	1,54%	Mathematical user interfaces	1	1,54%
Atomic Properties/Structure	1	1,54%	Minorities in Chemistry	1	1,54%
Blind or visually impaired	1	1,54%	Misconceptions/Discrepant Events	1	1,54%
Braille translation software	1	1,54%	Multi-modality	1	1,54%
Cognition	1	1,54%	Nemeth Braille	1	1,54%
Computational Equivalence	1	1,54%	Phet simulation	1	1,54%
Content MathML	1	1,54%	Public Understanding/Outreach	1	1,54%
Curriculum development	1	1,54%	Sensorial substitution	1	1,54%
DAISY	1	1,54%	Stem education	1	1,54%
Description	1	1,54%	Tactile graphics	1	1,54%
E-learning	1	1,54%	Usability study	1	1,54%

Palavras-chave	Núm.	%	Palavras-chave	Núm.	%
Elementary/Middle School Science	1	1,54%	Usability testing	1	1,54%
Equation editors	1	1,54%	Vibrotactile	1	1,54%
General Public	1	1,54%	Visual impairment	1	1,54%
Graduate Education/Research	1	1,54%	Visually impaired students	1	1,54%
GSK	1	1,54%			

Fonte: o autor

Pela tabela, pode-se perceber que esta lista de certa forma independe dos termos usados na pesquisa inicial. STEM não está entre os mais usados (apesar de próximo) e aparece tanto quanto *Chemistry*. *Visually Impaired* e *Blind* não aparecem em quaisquer das publicações, a não ser em conjunto (no mesmo conjunto), em apenas um documento.

Ainda tratando de termos compostos, alguns deles são a única ocorrência de termos relacionados, como o que ocorre com *Usability*, que aparece 2 vezes, porém em conjunto com os termos *Study* e *Testing*. No entanto, *Access* e *Accessibility* aparecem sozinhos e em uma quantidade que merece menção.

A lista também apresenta termos bastante variados demonstrando a diversidade de ideias tratadas. Tem-se desde STEM a *Interfaces*. *Daisy* a *Chemistry*.

3.1.1.5 Conteúdos

Após as filtragens, os 12 documentos restantes foram analisados em seu conteúdo. A Tabela 3:7 lista os títulos e autores destes estudos classificados como aceitos.

Tabela 3:7 Estudos aceitos para análise de conteúdo, separados pela origem (azul: conferências; amarelo: *journals*).

N.	Título
1	Multimodal perception of histological images for persons who are blind or visually impaired (ZHANG; DUERSTOCK; WACHS, 2017)
2	Evaluation of Existing and New Periodic Tables of the Elements for the Chemistry Education of Blind Students (FANTIN <i>et al.</i> , 2016)
3	Use of a sonification system for science learning by people who are blind (LAHAV; CHAGAB; TALIS, 2016)

N.	Título
4	Demonstration: Screen reader support for a complex interactive science simulation (SMITH; LEWIS; MOORE, 2016)
5	Online Nemeth Braille input/output using content MathML (DOOLEY <i>et al.</i> , 2016)
6	Investigating e-learning accessibility for visually-impaired students: An experimental study (HUANG <i>et al.</i> , 2015)
7	An interactive and intuitive STEM accessibility system for the blind and visually impaired (NAMDEV; MAES, 2015)
8	End-to-end solution for accessible chemical diagrams (SORGE; LEE; WILKINSON, 2015)
9	Including blind people in computing through access to graphs (BALIK <i>et al.</i> , 2014)
10	Making hands-on science learning accessible for students who are blind or have low vision (SUPALO; ISAACSON; LOMBARDI, 2013)
11	Gsk: Universally accessible graph Sketching (BALIK <i>et al.</i> , 2013)
12	CamIO: A 3D computer vision system enabling audio/haptic interaction with physical objects by blind users (SHEN <i>et al.</i> , 2013)

Fonte: o autor

A origem das publicações foi, coincidentemente, relativamente equilibrada. Da lista acima, os documentos 4, 5, 7, 8, 9, 11, e 12 (células marcadas em azul) foram publicados em conferências (58,33%). Os 1, 2, 3, 6 e 10 (células marcadas em amarelo) vieram de artigos de *journals* (41,67%).

Os conteúdos categorizados foram agrupados nos três itens apresentados a seguir. Desta maneira, tecnologia, funcionalidades e tipo de material didático originaram o próximo tópico. A ocorrência de testes com usuários, a descrição do tipo de usuário, o número de usuários testados, o tipo de estudo e se houve grupo de controle foram agrupados no tópico posterior. Finalmente, resultados principais, limitações e conclusões formaram o último subitem.

3.1.1.5.1 Tecnologia envolvida, funcionalidades e tipo de material didático

As tecnologias encontradas são em sua maioria digitais. O primeiro estudo, de Zhang, Duerstock e Lombardi (2017), trata do desenvolvimento e dos testes primários de uma ferramenta para ser aplicada no meio profissional: um sistema

multimodal de percepção de imagens em tempo real. Como apresentado no artigo, o sistema é utilizado para possibilitar que usuários com deficiências visuais analisem amostras de sangue em testes de laboratório de patologia transformando informação visual em uma combinação de feedbacks auditivos, vibratórios e hápticos.

A segunda pesquisa, de Fantin *et al.* (2016), é um artigo de periódico e se concentra em um problema mais específico: descreve a criação de duas versões para a tabela periódica de elementos químicos: uma, áudio-descrita para ser utilizada com o sistema DAISY⁴, para quem não tem acesso a um computador; e a outra, em HTML, para acesso pela web e por leitores de tela. Descreve ainda a criação de modelo em PDF e em Flash, mas estes não são acessíveis aos leitores de tela e então foram abortados.

O terceiro documento, um trabalho de Lahav, Chagab e Talis (2016), se utiliza de uma simulação computacional de comportamentos de partículas de fluidos dentro de um contêiner para ensinar alguns conceitos de dinâmica de fluidos (pressão, difusão e pressão gravitacional). Os comportamentos das partículas, como choque entre elas e contra as paredes do contêiner, têm feedback sonoro e assim os conceitos são transmitidos para videntes (através de animação) e para pessoas com deficiências visuais (através de sons).

O artigo 4, de Smith, Lewis e Moore (2016) apresenta uma maneira de garantir a interação com simulações digitais através de teclado, com audiodescrições em tempo real e saída para leitores de tela.

O estudo de Dooley *et al.* (2016), o 5º texto, apresenta uma tecnologia que, com o objetivo de publicar conteúdos matemáticos na internet, traduz do MathML (*W3C Math Markup Language*, linguagem utilizada para expressar fórmulas matemáticas em páginas web) para o Nemeth Braille (código Braille criado para atender às necessidades matemáticas, como os sinais de operações, o uso de decimais, separadores, linhas de fração, entre outros). Essa tecnologia também permite o caminho inverso: saindo do Nemeth Braille, chegar ao MathML. A inserção das fórmulas é feita através de um teclado QWERTY, para videntes, ou de um teclado Braille, para cegos.

⁴ um formato aberto para audiolivros. Inclui estruturação do livro em capítulos e seções, marcadores, pesquisa de texto, combinação de texto e áudio e facilita a leitura a quem tem dislexia ou baixa visão (GUERREIRO, 2018)

O sexto texto é um trabalho de Huang *et al.* (2015) e utiliza a mesma ferramenta de um dos experimentos do quinto documento, o DAISY. Porém nele a ideia é unir audiodescrição na leitura de fórmulas matemáticas com a informação tátil de teclados e leitores de tela.

O documento 7 da Tabela 3:7, o trabalho de Namdev e Maes (2015) trata de um sistema para converter qualquer texto escrito em Latex (linguagem relativamente comum para formatação de textos científicos) e imagens vetoriais (formato SVG) automaticamente em Braille.

Já o oitavo trabalho (SORGE; LEE; WILKINSON, 2015), de forma complementar ao primeiro, converte bitmaps em imagens vetoriais do tipo SVG. Essas imagens podem então ser inseridas em páginas HTML, serem escalonadas, terem elementos selecionados e receberem audiodescrição de acordo com o elemento que for selecionado.

Pode-se dizer que o estudo seguinte, o nono da Tabela 3:7, (BALIK *et al.*, 2014), é complementar ao décimo primeiro. Nele são realizados testes com usuários da ferramenta descrita no documento 11.

O artigo 10 (SUPALO; ISAACSON; LOMBARDI, 2013) apresenta a utilização do *Sci-Voice Talking LabQuest* em aulas de laboratório de química com o objetivo de promover uma participação mais ativa e melhores resultados nas coletas de dados e atividades práticas de estudantes cegos. O equipamento permite a coleta de dados, geração de gráficos, relatórios de aula e a exportação de dados para um computador pessoal para análises posteriores, algo antes inacessível.

O décimo primeiro documento, de Balik *et al.* (BALIK *et al.*, 2013), aponta uma tecnologia capaz de permitir que indivíduos com deficiências visuais possam facilmente criar, editar e compartilhar gráficos de nós em tempo real usando mecanismos de interação como mouse, teclado, monitor e leitores de telas comuns. Ela possui uma saída para videntes e outra, em grid, que pode ser conectada a um leitor de tela ou monitor tátil.

O último documento, de Shen *et al.* (2013) seguinte trata do uso do Kinect da Microsoft para coletar dados de profundidade e fornecer áudio-feedback de acordo com a posição do objeto para o qual o usuário aponta, como um lago em um mapa.

3.1.1.5.2 Tipo de estudo e testes com usuários

Dentre os estudos avaliados, apenas três não apresentaram realização de testes com usuários. Porém, dos nove que realizaram, apenas um, o artigo 9 da Tabela 3:7, contou com um número considerável de usuários: 150 estudantes avaliaram a experiência com o *Sci-Voice Talking LabQuest*. Mesmo assim, os resultados obtidos deste estudo são restritos apenas à percepção subjetiva dos estudantes sobre como o equipamento os ajudou durante as aulas de química em laboratório e como eram suas experiências sem a utilização do equipamento.

Os dois principais motivos colocados pelos demais estudos para não trabalharem com quantidades consideráveis de participantes em seus testes foram a baixa representatividade deles entre a população geral e; o fato de que a maioria das pesquisas realizadas estavam em um estágio muito inicial, visando testar funcionalidades que não precisam ser validadas estatisticamente; ou seja, testes de usuários com muitos participantes não seriam necessários naquele momento.

3.1.1.5.3 Resultados

Todos os resultados dos estudos avaliados foram positivos. Ou seja, todos conseguiram evidências e/ou indícios de que a intervenção aplicada era efetiva para o que estava sendo testado. O primeiro artigo da Tabela 3:7, *An interactive and intuitive STEM accessibility system for the blind and visually impaired* (NAMDEV; MAES, 2015), apresentou resultados bastante satisfatórios relativos à ampliação da quantidade, redução de tempo de produção e, conseqüentemente, redução de custos de materiais didáticos para Hyperbraille.

No *CamIO: A 3D computer vision system enabling audio/haptic interaction with physical objects by blind users* (SHEN *et al.*, 2013), o segundo estudo analisado, os resultados obtidos nos testes *CamIO* foram considerados satisfatórios pelos autores. No experimento conduzido, onde o sistema deveria reconhecer *hotspots* sempre que usuário participante apontasse para algum deles, houve poucos erros registrados, mas em sua maioria foram erros do usuário. Ocorreu apenas um erro de detecção durante os doze testes realizados.

O terceiro artigo, *Demonstration: Screen reader support for a complex interactive science simulation* (SMITH; LEWIS; MOORE, 2016) não apresentou testes

com usuários, mas trouxe como resultado uma estrutura paralela do *Document Object Model* de uma animação interativa HTML que permite que o mesmo material seja utilizado por pessoas com deficiências visuais e videntes.

Os resultados do *End-to-end solution for accessible chemical diagrams* (SORGE; LEE; WILKINSON, 2015), quarto artigo analisado, demonstram a eficácia do software desenvolvido, considerando que das 183 imagens *bitmap* utilizadas no experimento, apenas cinco não puderam ser devidamente convertidas: quatro feitas à mão e uma com fundo vermelho. Além disso, nos testes realizados com estudantes cegos, foi constatado que eles puderam reproduzir até mesmo moléculas com as quais não estavam familiarizados. O feedback obtido indica que esta exploração digital e interativa pode ser mais efetiva e substituir modelos físicos e gráficos táteis.

O quinto artigo, *Evaluation of Existing and New Periodic Tables of the Elements for the Chemistry Education of Blind Students* (FANTIN *et al.*, 2016), também não traz teste de usabilidade, mas apresenta constatações importantes sobre os formatos de arquivo mais e menos acessíveis para criação de tabelas periódicas. Segundo os autores, tabelas HTML são inteiramente acessíveis, enquanto os formatos PDF e Flash são considerados inacessíveis pela dificuldade de leitores de tela acessarem seu conteúdo.

O sexto e o sétimo estudos, *Gsk: Universally accessible graph Sketching* (BALIK *et al.*, 2013) e *Including blind people in computing through access to graphs* (BALIK *et al.*, 2014), respectivamente, são dos mesmos autores e tratam de uma mesma intervenção (GSK) em estágios distintos de desenvolvimento. No estudo de 2013, o experimento realizado contou com a participação de apenas um usuário (com deficiência visual), que considerou a ferramenta efetiva e de grande ajuda na criação e navegação de “gráficos de nós”.

O experimento do estudo posterior, de 2014, contou com a participação de nove usuários cegos utilizando uma versão aprimorada da mesma ferramenta. Os resultados obtidos foram mais detalhados, registrando tempo e quantidade de acertos, realizando também um comparativo com desempenho do mesmo grupo realizando as mesmas atividades no Microsoft Excel. Os resultados obtidos demonstraram que o tempo de resposta diminuiu, enquanto os acertos aumentam quando as atividades são realizadas através do GSK.

O oitavo documento listado na Tabela 3:7, *Investigating e-learning accessibility for visually-impaired students: An experimental study* (HUANG *et al.*, 2015), investiga a acessibilidade em *e-learning* para estudantes com deficiência visual e traz, como resultado de um estudo experimental e testes com usuários, evidências positivas sobre a inserção da tecnologia DAISY para a elaboração de livros digitais de matemática, embora não sejam estatisticamente válidas.

O nono estudo avaliado, *Making hands-on science learning accessible for students who are blind or have low vision* (SUPALO; ISAACSON; LOMBARDI, 2013), apresentou o maior número de participantes no experimento e trata da experiência subjetiva dos estudantes que utilizaram a tecnologia destacada no artigo. Os resultados foram obtidos através de um formulário que recolhia informações como satisfação, envolvimento, experiência prática e autoconfiança em relação ao uso do *Sci-Voice Talking LabQuest*. De acordo com as respostas obtidas, quase 90% dos 150 participantes afirmaram que a ferramenta os permitiu estarem mais ativamente envolvidos na coleta de dados das aulas, enquanto 53% deles disseram se sentir ativamente envolvidos nas aulas de laboratório convencionais do ensino médio.

O artigo *Multimodal perception of histological images for persons who are blind or visually impaired* (ZHANG; DUERSTOCK; WACHS, 2017), décimo analisado, descreve um experimento realizado com 10 participantes, sendo 5 pessoas com deficiências visuais (cegos) e 5 videntes vendados. Os dois grupos avaliaram tanto o método multimodal de análise de imagem (intervenção deste estudo) quanto o método tradicional com imagens táteis. Para o objetivo desta revisão, os resultados realmente relevantes foram os originados pelos participantes cegos, que demonstraram que, apesar de um tempo maior de resposta, a quantidade de acertos foi superior utilizando o método multimodal em relação ao método tradicional. Em adição, temos o fator de tempo e o custo de produção das imagens táteis, eliminado no caso do sistema apresentado.

O *Online Nemeth Braille input/output using content MathML* (DOOLEY *et al.*, 2016), penúltimo artigo, foca na ferramenta e como ela foi construída. Não houve testes além da verificação da funcionalidade: traduzir automaticamente as fórmulas matemáticas do MathML para o Nemeth Braille e vice-versa, cuja eficácia foi apresentada.

Na última publicação analisada, *Use of a sonification system for science learning by people who are blind* (LAHAV; CHAGAB; TALIS, 2016), houve aplicação de questionários com perguntas relacionadas à dinâmica de fluidos ensinada no ensino médio. Com a comparação dos resultados dos questionários aplicados antes e depois do experimento, se constatou que houve aumento no número de acertos. Concluem assim, que a transmissão de conhecimento por som é eficaz. Ainda concluíram que o tipo de pergunta dos questionários não influenciava os resultados.

3.1.2 Conclusões do levantamento

A busca mostrou que o número de estudos publicados nos cinco anos anteriores, relacionados ao desenvolvimento de ferramentas e tecnologias de ensino para as áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática, é muito baixo, embora tenha sido percebido um leve aumento neste número ano a ano, desde 2013.

A bibliometria realizada com os autores dos artigos avaliados constatou apenas recorrência de quatro autores, cada um deles aparecendo duas vezes. Após a leitura dos artigos nos quais estes autores estão presentes, verificou-se que se trata de uma única intervenção, em estágios de desenvolvimento diferentes: um estudo realizado em 2013 e o outro em 2014. Portanto, nenhum dos autores puderam ser considerados como referência na área. O mesmo procedimento foi feito com as instituições e, assim como com autores, nenhuma se sobressaiu. Esse pode ser então um problema em aberto para revisões futuras, que abranjam uma quantidade maior de estudos.

Dentre as palavras-chave, as mais recorrentes foram *Access* e *Accessibility*. Nenhuma delas fora incluída nos termos de busca para esta revisão, indicando um possível refinamento ou ampliação dos termos para pesquisas futuras.

Através da análise das informações dos 12 artigos, constatou-se, primeiramente, que todas as intervenções apresentadas eram de procedência eletrônica e/ou digital. Alguns dos fatores que contribuem para isso são o custo e o tempo de produção de materiais físicos (livros em Braille, modelos e imagens táteis, entre outros) por meios de produção tradicionais e a dificuldade de atualizar tais materiais. Esses problemas são consideravelmente reduzidos e, em alguns casos, inexistentes no caso das soluções digitais apresentadas.

A maioria dos estudos é voltada a soluções para o problema da transmissão de dados imagéticos devido à grande quantidade de recursos visuais utilizados no ensino de STEM, tanto como exemplo de conceito (ilustração), quanto como o próprio conteúdo ou objetos de estudo. Isso fica evidente quando sete dos doze artigos tratam de soluções direcionadas a imagens (em sua maioria, gráficos e diagramas). Ainda assim, a audiodescrição sozinha ou em conjunto com tecnologias visuais e táteis apresentou bons resultados, principalmente em velocidade de transmissão de dados e sua compreensão, bem como na construção do contexto das informações a serem trabalhadas.

Outro ponto identificado foi que boa parte das intervenções propostas fazem uso de tecnologias já existentes, como o Microsoft Excel, o sistema DAISY, o leitor de tela Jaws, a linguagem Hyperbraille, o XML como base para semântica de CML e MathML e até mesmo o Kinect.

Deste modo, pode-se dizer que o foco principal das intervenções, não importando a área específica, é o de promover alternativas de leitura e/ou geração de recursos visuais relacionadas aos conteúdos e; em sua maioria gráficos, diagramas, representações gráficas e análise de objetos e eventos, integrando esses métodos e ferramentas aos materiais já existentes e/ou desenvolvendo maneiras de convertê-los automaticamente em materiais acessíveis.

Assim, considerando os termos *blind* ou *visually impaired* e STEM, tinha-se à época estudos do uso de tecnologia eletrônica/digital principalmente para adaptação de imagens. No entanto, apenas metade dos estudos fizeram testes com usuários e destes, dois testaram com apenas uma pessoa. Os demais, com nove, dez, doze e um deles chegou a 150 estudantes cegos ou de baixa visão reportando o como a tecnologia os ajudou.

Desde então, depois que este levantamento cumpriu o seu objetivo de dar uma visão inicial, os objetivos da tese mudaram gradativamente. Passaram por usabilidade e ensino até chegar ao problema da geração de conteúdos físicos, os quais se tornam mais acessíveis por não dependerem de dispositivos para a sua interpretação, mas apresentam o problema da dificuldade e tempo de fabricação.

No entanto, intervir nesta área pede que se entenda primeiramente como se dá a percepção dos conteúdos. Neste ponto, a pesquisa partiu para estudos mais próximos desta área, apresentados a seguir.

3.2 A percepção da imagem

O entendimento de como o ser humano compreende uma imagem visual e tátil pode influenciar e direcionar os experimentos e ajuda a compreender seus resultados sobre trabalhos já efetuados e sobre qualquer outro que venha a ser realizado nesta área.

Por isto, é interessante compreender primeiramente como se dá a percepção de uma imagem visual e como a tarefa é realizada com uma imagem tátil. Os próximos tópicos mostram as diferenças, limitações e o que pode influenciar a percepção da informação contida nas figuras.

3.2.1 Processamento da imagem

O reconhecimento e processamento de imagens visuais aciona dois tipos de memória, a semântica e a episódica. Esta última é a responsável por reconhecer e relembrar as figuras enquanto a semântica acessa nossa base de conhecimento armazenado pela vida para nomear figuras e palavras, categorizá-las e compará-las (SNODGRASS; VANDERWART, 1980).

Sabe-se que a nomeação (lembrar o nome e apresentá-lo) é mais rápida para conceitos do que para figuras (CATTELL, 1886; SNODGRASS; VANDERWART, 1980). E, no caso das imagens, o processo depende da frequência com que o nome do conceito representado é encontrado no dia a dia, a idade de aquisição de seu nome, e o grau de concordância daquele nome com a figura.

Na categorização, a velocidade se inverte e as imagens são categorizadas mais rapidamente do que conceitos. Isso se dá porque algumas características são armazenadas diretamente na imagem, como tamanho, cor e forma. No entanto, se a tarefa exigir, além de categorizar, acessar o nome do objeto da figura, se torna mais lenta pois recorrerá, adicionalmente, às dependências citadas no parágrafo anterior.

Nas atividades que requerem a memória episódica, as imagens são lembradas mais rapidamente do que materiais nominais. Uma das hipóteses para justificar esta ocorrência é o fato de que as imagens são duplamente armazenadas, tanto em formato pictórico quanto pelo seu nome (ROWE; PAIVIO, 1971). Outra hipótese é a de que imagens são mais bem lembradas do que palavras porque são

conceitualmente únicas, enquanto as palavras podem ter mais de um significado e associações, todas memorizadas e passíveis de acesso em busca da mais adequada para aquele momento do acesso (DURSO; JOHNSON, 1979).

Desta maneira, a escolha das imagens a serem identificadas influencia o resultado da identificação. Portanto, é interessante que o processo de determinação das imagens para um teste de identificação tenha uma relação com o acesso dos conceitos à memória.

Neste intuito, buscando suprir esta necessidade e criar uma listagem de figuras deste tipo, ordenadas e agrupadas pelo acesso à memória, Snodgrass e Vanderwart (SNODGRASS; VANDERWART, 1980) apresentaram um conjunto de imagens, demarcadas apenas por seus contornos, com 260 conceitos definidos por três critérios: (1) que não possuíssem sentidos ambíguos, (2) que contivessem amostras dos elementos mais comuns, dentro dos conjuntos pictográficos mais usados, segundo a categorização de Batting e Montague (1969), e (3) que representassem o nível mais básico de categorização de Rosch, Mervis, Gray, Johnson e Boyes-Braem (1976).

A categorização citada no critério 2 trata da definição de normas para agrupar imagens em categorias, como animal de quatro patas, móvel, utensílio de cozinha, ferramenta, fruta, arma, instrumento musical, pássaro, veículo, brinquedo, inseto, entre outros.

O nível mais básico, citado no terceiro critério, é caracterizado pelos objetos mais comuns, com suas formas próprias, mas que compartilham atributos e desenhos com outros elementos do mesmo grupo/categoria, ou até mesmo possuam funções ou funcionamento semelhantes.

Com os três critérios, as figuras agrupadas são comumente aquelas que são primeiramente lembradas, como um cão para um animal de quatro patas, cadeira e mesa dentre os móveis. Ao mesmo tempo, tratam de objetos que dificilmente seriam confundidos com outros, evitando a ambiguidade.

Para ajudar neste último ponto, durante a identificação das imagens, algumas respostas com conceitos diferentes foram tratadas como sinônimos, como trompete e corneta, enquanto outros, os quais dificilmente seriam reconhecidos pelo nome por falta de familiaridade, como alcachofra ou formão, tiveram suas respostas aceitas pelas suas categorias (vegetal e ferramenta, respectivamente).

Aqueles objetos que apareceram como mais lembrados em mais de uma categoria, como faca em arma e em utensílio de cozinha, o fizeram com posições diferentes, ou seja, se mostraram com níveis diferentes de representatividade nas lembranças/associações individuais em cada uma das categorias em que foi alocado.

Por fim, buscando o nível básico de representação, a orientação dos objetos foi definida conforme as recomendações pré-estabelecidas. Assim, como exemplo, animais são mostrados em vista lateral, objetos que podem ser utilizados em posições variadas foram desenhados na vertical com a parte funcional para baixo e, objetos finos e longos colocados em ângulos de 45° igualmente distribuídos para ambos os lados. Algumas destas imagens podem ser conferidas na tabela Tabela 4:5 (página 154).

O resultado deste conjunto de critérios e diretrizes é uma filtragem dos elementos propostos nos estudos anteriores (BATTIG; MONTAGUE, 1969; ROSCH *et al.*, 1976) para aqueles que seriam mais facilmente identificados, e uma definição da forma de representação deles.

Com diferentes experimentos, quatro medidas foram coletadas: (1) o quanto as imagens foram nomeadas (ação de lembrar o nome) e o nome mais repetidamente recebido; (2) a taxa de associação entre a imagem mental do conceito e o nome do objeto; (3) a familiaridade com o conceito (o quanto aquele objeto faz parte do dia a dia); e (4) a complexidade visual da figura (a quantidade de detalhes ou de enredamento das linhas).

Com isto, obtiveram uma lista de 260 imagens mais lembradas, ordenáveis segundo as quatro características mencionadas no parágrafo anterior, e acrescida da idade de aquisição, à época, de 89 delas. Também foi enumerada a quantidade de vezes em que cada objeto não foi reconhecido, em que não foi nomeado, quando o nome ficou “na ponta da língua”, quando o objeto não era familiar, e quando não concordava com a imagem que o indivíduo possuía em sua mente como representação daquele conceito.

Esta listagem serviu de base para os experimentos descritos no capítulo 4.2, “Percepção dos elementos impressos”, mais precisamente, a partir da página 153.

3.2.2 Percepção tátil

A percepção tátil é diferente da percepção visual, como será apresentado nos parágrafos e itens seguintes. Estas diferenças aparecem desde a maneira como o todo e os detalhes são percebidos, além da relação entre eles, passam pela carga de memória envolvida, dimensões da figura, familiaridade com as formas, significado e contexto do objeto tocado, seu peso, texturas entre outros.

Isto leva a caminhos diferentes. Porém, áreas do cérebro associadas às relações com objetos podem reter suas representações em ambas as modalidades, o que sugere que as populações neurais no córtex occipito-temporal do cérebro, região responsável pelo reconhecimento visual e das palavras, constituam uma rede multimodal relacionada a objetos. (AMEDI *et al.*, 2001).

Sob ressonância magnética, estas redes neurais relacionadas às imagens visuais mostram comportamentos semelhantes àquelas da percepção tátil quando estimuladas por formas de objetos familiares, mas isto não ocorre com objetos desconhecidos. Assim, quando os objetos são familiares, pode-se dizer que a imagem visual está mais ligada à percepção da forma tátil (LACEY *et al.*, 2010).

3.2.2.1 Identificação

Embora o entendimento da forma surja por volta do primeiro ano de vida, a compreensão de conceitos requer muito mais tempo. E em sua exploração para descobrir o mundo, as crianças costumam investigar as formas com toda a mão em vez de escanear com as pontas dos dedos. Crianças com deficiência visual, adicionalmente, tendem a buscar qual som aquele objeto faz, embora isto não transmita muitas informações acerca de sua aparência e assim, precisam ser guiadas pelas suas mãos e dedos através de objetos e imagens (ERIKSSON, 1999).

Esta captação de informações se apoia no fato de que objetos tridimensionais possuem formas, texturas, massa, volume e outras características relacionadas aos seus materiais. Este conjunto de informações cria uma assinatura que facilita o reconhecimento do objeto tanto visualmente quanto tactualmente (HELLER, 1989a, b; MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016).

Por outro lado, a imagem bidimensional se limita às informações passadas pelo desenho: a forma, o tamanho, o material e as cores, cuja combinação não é

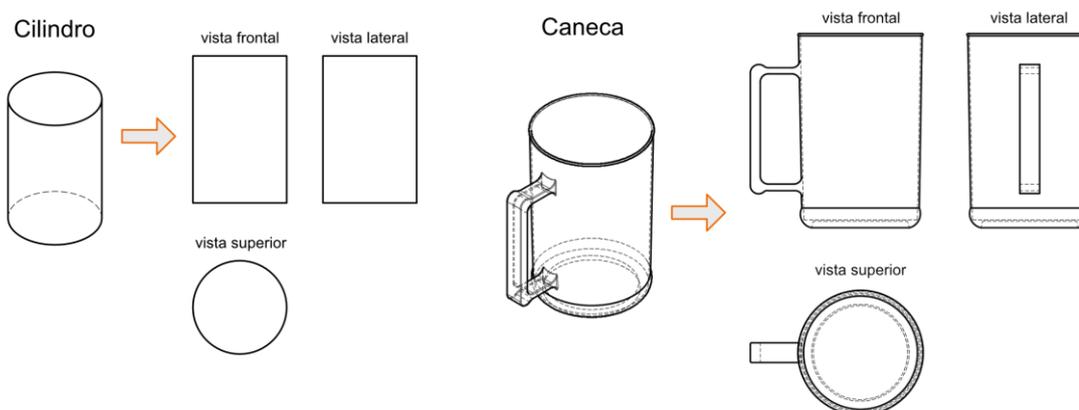
exclusiva de um ou de outro objeto, sendo muitas vezes uma representação imagética de objetos reais, ou seja, já sofreu algum tipo de alteração por interpretação e reprodução (ERIKSSON, 1999).

Além disto, devido à natureza da forma como são captadas, seguindo uma exploração que, aos poucos, monta o todo da imagem, as imagens bidimensionais requerem uma alta carga de memória no processamento da montagem da imagem em conjunto com a informação espacial (MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016).

Mas as figuras quase sempre são definidas pelo seu contorno. Quando as linhas se fecham, criam áreas distintas contra um espaço de fundo, separando-os. A partir de então, a linha toma menos importância do que a imagem que ela reproduz. Os cérebros humanos estão preparados para utilizar esta distinção para sua orientação. Da mesma maneira, pessoas com deficiência visual também se utilizam desta informação para construir a imagem (ERIKSSON, 1999).

No entanto, os contornos formam silhuetas do objeto e distinguir uma figura tátil por ela pode gerar problemas na interpretação da informação. Como exemplo do problema, objetos curvos podem ser representados por linhas retas, como um cilindro, ou uma caneca sendo representados por retângulos em suas vistas frontais (Figura 3:3). Um retângulo representando um cilindro em uma imagem tátil dificilmente leva ao entendimento da forma original que ele representa sem um treinamento prévio.

Figura 3:3 Representações tridimensionais de um cilindro e de uma caneca. À esquerda, isometria. À direita, suas respectivas vistas ortogonais mongeanas.



Fonte: o autor

Por isto, a identificação de imagens bidimensionais através do tato é mais difícil do que de objetos tridimensionais, principalmente se não se tem uma

experiência prévia com aquele objeto ou imagem (ERIKSSON, 1999; HELLER, 1989a, b; MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016). Simplesmente dar um relevo a imagens comuns não é suficiente. Um exemplo disto é que, enquanto nas figuras tradicionais a linha horizontal pode representar o repouso (do céu sobre a terra, de uma parede sobre o piso), nas figuras táteis a linha equivalente serve de apoio para a posição de pessoas e animais, raramente representa um horizonte, pois este é um conceito difícil de se transmitir sem um conhecimento prévio (ERIKSSON, 1999).

Em uma imagem onde se tem uma linha horizontal dividindo a área, duas linhas diagonais na parte de baixo, convergentes para um ponto central naquela linha horizontal, e figuras diversas nas laterais externas destas diagonais diminuindo em escala conforme se aproximam da linha horizontal, transmitem em uma imagem visual a ideia de um caminho em perspectiva frontal subjetiva. Se transformada diretamente em uma imagem tátil, o efeito não será o mesmo pois a ideia de perspectiva é uma representação gráfica de um ponto de visão, uma tradução do que se vê no mundo para o plano de um papel. Para os cegos congênitos, sem uma explicação prévia, isto não faz sentido. Para o tato, não há a ilusão de objetos mais distantes ou mais próximos.

Outra possível causa para a dificuldade de reconhecimento, está a ausência de controle sobre os movimentos da mão quando exploram padrões complexos e a carga de memória envolvida durante a exploração da imagem (HELLER, 1989a; MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016). Linhas verticais requerem menos esforço para serem lembradas do que as horizontais e esta relação se preserva entre as horizontais e diagonais. As explicações dadas residem na relatividade destas posições em relação à exploração do observador sobre a figura, adicionado à associação de ideias que remetem à atuação da força da gravidade e da postura vertical dos seres humanos, itens familiares do dia a dia (ERIKSSON, 1999).

Os cegos, de maneira geral, possuem uma melhor compreensão do que videntes vendados quando a informação é distribuída verticalmente, algo que costuma desorientar observadores videntes (HELLER, 1989b).

Para ser decifrada, uma figura tátil precisa ter todos os seus elementos distintos, distinguíveis e identificáveis. Também é aconselhável que não possua sobreposição de elementos nem faça uso de perspectiva.

Alguns conceitos puderam ser comprovados e outros serem tirados do estudo do entendimento do reconhecimento de figuras, apresentado por Heller (HELLER, 1989a). Ele realizou um experimento no qual apresentou desenhos em linhas gerados pela pressão da ponta arredondada de uma caneta contra uma lâmina de plástico repousada sobre borracha. A deformação gerada formou linhas destacadas em altura no verso da folha plástica. As figuras possuíam dimensões máximas variando entre 4 cm e 11 cm.

Os indivíduos testados, videntes, cegos congênitos e cegos tardios, deveriam nomear as figuras sem dicas nem limite de tempo. Em um segundo momento, ouviam os nomes das figuras ditos aleatoriamente e então recebiam novamente elas em uma ordem diferente para tornar a identificá-las. O conjunto de imagens foi composto por pilha, chave, carimbo, rosto, corpo, telefone de mesa, relógio de pulso, garrafa, cabide, bengala, guarda-chuva e tesoura, conforme mostrado na Figura 3:4.

Os tardiamente cegos tiveram um nível de acerto mais alto do que os videntes e do que os cegos de nascença. Depois de receberem os nomes, os cegos congênitos mais que quintuplicaram seus resultados, os videntes seguiram o resultado e ampliaram a taxa de sucesso em mais de quatro vezes. No entanto, os tardiamente cegos mantiveram sua posição mais elevada em acertos ao mais que duplicar seus

Figura 3:4 Ilustrações utilizadas em experimento de identificação.



Fonte: HELLER, 1989a .

sucessos: de 35,8% para 81,8%, para os cegos tardios; de 12,9% para 59,8%, para os videntes vendados; e de 9,1% para 49,3%, para os cegos de nascença.

Pelos dados, percebe-se que no reconhecimento de figuras táteis, a tarefa se torna muito mais fácil quando os participantes recebem dicas ou nomes do que estão tocando, algo que pode ajudar bastante no aprendizado de novas imagens e conceitos.

O estudo também afirma que algumas figuras parecem ser mais facilmente reconhecíveis quando sua exploração descreve movimentos semelhantes àqueles executados na sua versão real tridimensional. Cabide, corpo humano e bengala foram facilmente reconhecidos mesmo antes de receberem os nomes, o contrário aconteceu com o carimbo e relógio de pulso, os quais não foram identificados mesmo após saber que estavam no conjunto de imagens.

O autor coloca que a simplificação das formas pela eliminação de detalhes não é necessariamente uma ajuda e exemplifica com o caso em que um cego comentou não identificar o telefone de mesa pela ausência do fio (cabo de ligação). Além disso, a maioria dos erros de identificação vieram de associações visuais que faziam sentido: confundir o carimbo com uma mesa e o telefone com um cogumelo, por exemplo. Isto acontece também com representações visuais para videntes, quando a perspectiva, iluminação ou cores induzem à falha na interpretação.

Videntes identificaram facilmente a representação do rosto, mas tiveram dificuldades com o corpo, enquanto o resultado oposto aconteceu com os cegos, mesmo o corpo possuindo um rosto semelhante.

As identificações requereram mais de um minuto, porém os cegos de nascença lançaram seus palpites mais rapidamente em cada uma das etapas (61 s / 37 s) do que os cegos tardios (81 s / 44 s) e os videntes (84 s / 58 s), tanto antes quanto depois de receberem os nomes.

Estatisticamente, a condição visual não foi significativa nos resultados antes nem depois de receberem os nomes. Porém, a relação entre as formas das figuras e a condição visual foi significativa apenas antes de receberem os nomes das figuras. Depois, apenas a forma das figuras apresentou impacto significativo nos resultados.

Em um estudo semelhante, porém agora com crianças com deficiência visual e videntes vendadas, entre oito e treze anos de três nacionalidades (italianas, inglesas e canadenses), D'Angiulli *et al.* (1998) testaram a hipótese de que as crianças videntes

vendadas poderiam reconhecer imagens pelas suas habilidades de reconhecimento pictórico, enquanto as crianças com deficiências visuais teriam essas mesmas habilidades, reforçadas pela experiência e conhecimento de formas e pela habilidade tátil mais desenvolvida.

Os testes também foram realizados utilizando cartões de plástico com 8 formas simplificadas de objetos comuns (rosto, tesoura, garrafa, copo, boneco, telefone, guarda-chuva e chave) semelhantes às do estudo citado anteriormente. Eles foram confeccionados em relevo de 0,5 mm, com tamanhos que variavam entre 16,5 cm a 14,5 cm (Figura 3:5), portanto, maiores do que os 4 a 11 cm usadas no estudo de Heller (HELLER, 1989a). Esses cartões foram apresentados diversas vezes aleatoriamente em duas rodadas. Na primeira rodada, as crianças exploraram livremente a forma. Na segunda rodada, passiva⁵, foram guiadas duas vezes pela imagem. Em ambas as rodadas a exploração continuava até a primeira resposta ou até que passassem dois minutos.

Figura 3:5 Formas utilizadas em testes de reconhecimento.



Fonte: D'Angiulli, Kennedy e Heller (1998).

A conclusão apontou que apenas quando foi auxiliado pelo instrutor, o grupo de videntes vendados superou (levemente) o grupo de cegos. Nessa condição, seus resultados melhoraram consideravelmente.

Os autores concluíram que crianças com deficiência visual e crianças videntes podem utilizar princípios similares de identificação tátil. Os resultados também

⁵ Percepção passiva: captação da informação quando involuntária ao usuário, neste caso, através de movimento guiado por um auxiliar vidente.

mostraram que os cegos têm habilidades exploratórias melhores, mas que podem ser igualados através de uma exploração guiada e sistemática, já que sua melhoria de reconhecimento foi menos afetada por este tipo de exploração. Todos os grupos tiveram aproximadamente o mesmo grau de facilidade e de dificuldade nas mesmas imagens, não importando se eram videntes ou pessoas com deficiências visuais; no entanto, as crianças com deficiência visual aparentemente aprenderam mais rapidamente com seus erros anteriores.

Apesar da experiência visual prévia não se apresentar como necessária para a percepção de padrões, ela pode melhorar a performance na identificação de figuras se combinada com experiência prévia de percepção tátil, daí a boa performance dos cegos tardios (D'ANGIULLI; KENNEDY; HELLER, 1998; SPIRANDELLI *et al.*, 2021).

A exceção recai nas imagens em perspectiva, nas quais a experiência anterior com imagens visuais faz uma grande diferença no reconhecimento da imagens (MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016). Assim, a familiaridade com os sistemas de representação gráfica bi e tridimensional, juntamente com a habilidade motora de exploração tátil parecem ser a chave para o reconhecimento das imagens. (D'ANGIULLI; KENNEDY; HELLER, 1998; HELLER, 1989a, 1985, 1989b; MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016).

Esta habilidade de exploração também leva as pessoas com deficiência visual, tanto as de nascença quanto aquelas com cegueira posteriormente adquirida, a serem mais rápidas e possuírem maior taxa de sucesso do que videntes vendados quando a tarefa de identificação de formas bidimensionais é realizada por comparação entre imagens táteis. As experiências visuais prévias novamente não são significantes na localização e identificação das figuras (HELLER, 1989a).

Ao mesmo tempo, explorações com sequências motoras aleatórias não fazem proveito do conjunto imagético que o usuário possua em memória (HELLER, 1985). E neste ponto, o toque passivo pode ser útil à tarefa de reconhecimento, principalmente quando o indivíduo possui deficiências no controle do movimento (HELLER, 1989b).

O histórico de visão, o nível de escolaridade e a performance em leitura de textos em Braille não parecem influenciar os resultados da identificação de figuras (HELLER, 1989a). No entanto, a leitura em Braille pode fazer diferença em imagens compostas por múltiplos elementos não agrupados, uma vez que ela exercita a exploração da mídia de suporte (MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016).

Por tudo isto, cegos deveriam ser mais encorajados a desenhar, incluindo perspectivas, enquanto videntes poderiam melhorar bastante o reconhecimento tátil se usassem mais de um dedo na leitura, pois isto geraria informações de relação de distância entre os elementos e reduziria a carga mnêmica.

Crianças deveriam ser ensinadas a entender a forma, direção, distância, escala e verbalizar o posicionamento espacial antes de relacionar figuras táteis a imagens ou mapas à realidade ao seu redor. E, quando partir para as figuras, como muitos cegos têm pouca ou nenhuma experiência com imagens táteis, começar um aprendizado pelas mais simplificadas é o ideal. (ERIKSSON, 1999; HELLER, 1989a; SPIRANDELLI *et al.*, 2021).

Em outras palavras, para uma boa compreensão de conteúdo tátil é necessário saber captar e interpretar os estímulos oriundos de pontos, linhas, texturas e formas do material tátil. Isto requer o desenvolvimento de pelo menos cinco habilidades, listadas a seguir.

- (1) **Escaneamento:** a detecção da presença de itens em uma página e capacidade de seguir linhas sem perda do contato. Ela leva a exploração à capacidade de detecção de informações, mesmo que estejam espalhadas pelo local. Portanto, é a habilidade básica para a garantia da compreensão.
- (2) **Discriminação tátil:** o reconhecimento de itens e sua correspondência com outros de acordo com o tamanho, forma e textura. Como frequentemente as informações se apresentam em variedade de formas, tamanhos e/ou texturas, captar e saber distinguir e comparar estas características e as suas variações que se mostram na mídia pode ser crucial para o entendimento do cenário analisado.
- (3) **Compreensão espacial:** posicionamento no espaço e ângulo de rotação. Os elementos visuais sempre vão estar posicionados e rotacionados de alguma maneira. A compreensão destas informações e da interrelação entre os elementos leva ao aumento da precisão da imagem formada do conceito mostrado.
- (4) **Memorização de curto prazo:** retenção de um conjunto de informações e itens por um curto período. Como as habilidades anteriores levantam informações em partes durante o processo de escaneamento, a memória é

bastante requisitada para unir estas partes da informação em busca da formação do seu todo. Esta habilidade é limitada e está ligada à idade.

- (5) **Compreensão de imagens táteis:** identificação de desenhos de objetos e de seus componentes semânticos. Outra habilidade ligada à idade, visto que a familiaridade com os objetos influencia os resultados, é a maior e mais difícil das habilidades de percepção e cognição tátil e ocorre se apoiando em todas as habilidades anteriores. (MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016).

A BANA (Autoridade Braille da América do Norte, na sigla em inglês) (2010, *apud* STANGL; HSU; YEH, 2015) fornece diretrizes para o design de gráficos táteis e construção do Braille com as melhores práticas e convenções, entre outras:

- (1) considerar os obstáculos cognitivos para um uso bem-sucedido tanto de gráficos táteis quanto de figuras táteis;
- (2) considerar que o tato não é capaz de perceber detalhes mínimos, como a visão o faz;
- (3) lembrar que extrair informações através de uma sequência de toques para então integrá-las para formar o todo impõe uma carga de memória pesada;
- (4) assegurar que representações gráficas conceituais sejam apoiadas com interpretação.

Em relação a este último ponto, como para entender uma imagem tátil é necessário identificar, distinguir, compreender, memorizar e conhecer tanto os elementos que aparecem nela quanto a relação entre eles (um pássaro em seu ninho requer a compreensão de pássaro, de ninho e da relação entre eles), descrições próximas às figuras melhoram a compreensão do que está sendo representado. Não apenas a descrição ou citação dos elementos visuais, mas uma interpretação e tradução da relação entre os elementos (e seus conceitos) da figura, ou seja, uma orientação de como perceber a imagem (D'ANGIULLI; KENNEDY; HELLER, 1998; ERIKSSON, 1999; HELLER, 1989a, 1985, 1989b; SPIRANDELLI *et al.*, 2021). Nesta orientação, os cinco passos recomendados para um procedimento de descrição passam por:

- (1) dar uma visão geral da figura,
- (2) localizar os elementos no espaço,
- (3) descrever os elementos em detalhes de aparência e funcionalidade,

- (4) fazer um resumo final explicando o todo da imagem (ERIKSSON, 1999),
- (5) e durante o processo, estimular a exploração e a identificação pelo uso das duas mãos ou de mais de um dedo (HELLER, 1989a; MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016).

As informações de orientação podem vir em forma de Braille ou por outros tipos de mídia, como a sonora, e ela é capaz de aumentar a taxa de reconhecimento (D'ANGIULLI; KENNEDY; HELLER, 1998; ERIKSSON, 1999; HELLER, 1985, 1989b), mas é importante considerar que o processo tende a se tornar mais eficiente com a experiência e familiaridade do usuário (SPIRANDELLI *et al.*, 2021).

3.2.2.2 *Texturas*

As diferenças entre cegos tardios, cegos de nascença e videntes não se limitam aos casos mostrados no tópico anterior. Videntes e cegos tardios podem ter desempenho um pouco melhor no reconhecimento de padrões imagéticos bidimensionais.

Embora um arcabouço de memória imagética possa ajudar na percepção de formas, quer pela lembrança do padrão visual, quer pela lembrança dos movimentos manuais na exploração da figura (no caso de cegos de nascença), a percepção de texturas não se beneficiam desta ligação (HELLER, 1989b).

Os olhos podem distinguir diversos padrões de textura em uma mesma imagem enquanto o tato só pode distinguir a diferença entre alguns. Mesmo assim, imagens táteis podem ser melhor compreendidas se tiverem seus elementos distintos por diferentes texturas (ERIKSSON, 1999).

No entanto, mesmo considerando que as texturas facilitam a percepção e levam a diferenciação dos elementos da imagem a um público maior, muitas vezes elas devem dar lugar ao contorno como prioridade na construção de uma imagem tátil. Por exemplo, dificilmente se conseguiria distinguir dois animais pelo tato sobre seus pelos, mas as orelhas longas de um coelho o distinguiriam de um gato mesmo se os dois fossem representados em texturas macias (ERIKSSON, 1999).

Considerando a textura em si em comparações de áspera/suave, as performances de videntes com visão obstruída e cegos são bastante semelhantes, tanto em uma abordagem sensorial ativa quanto em uma passiva (definição na nota de rodapé número 5, na página 54).

Curiosamente, também não há muita distinção entre visão e tato na percepção de aspereza para granularidades de até 1000 grãos/cm². A partir de então, a visão não é mais suficiente para deduzir informação a partir dos padrões de contraste entre luz e sombra e o tato, assim, se destaca até os 6000 grãos/cm², quando as estruturas de pontos passam a ser muito pequenas para serem julgadas em quais seriam as mais densas (HELLER, 1989b).

3.2.2.3 *Perspectiva*

A percepção de perspectiva em uma imagem é natural para pessoas com visão, quando utilizando seus órgãos oculares. No entanto, representar um ponto de vista tridimensional em uma mídia bidimensional não é tarefa intuitiva e, por isso, a humanidade levou séculos para criar sistemas de representação que gerassem uma ilusão de semelhança aceitável na tradução dos três eixos dimensionais para dois.

Tratando de imagens táteis, pelo descrito nos tópicos anteriores, poder-se afirmar que uma pessoa que enxerga carregaria consigo a vantagem de ter conhecido imagens em perspectiva, enquanto uma pessoa cega teria a vantagem da percepção tátil mais desenvolvida. Desta maneira, alguém que ficou cego posteriormente teria ambas as vantagens na proporção do tempo de experiência que teve em cada tipo de mídia (HELLER, 1989a).

Porém, tratando de ponto de vista (ou ponto de percepção), Dodds *et al.* (1982) observaram que crianças com deficiência visual tendem a egocentrizar as referências do espaço ao seu redor, ou seja, estabelecem relações com o ambiente a partir de si próprias, o que dificulta, embora não iniba, a captação da informação espacial; enquanto aquelas que se tornaram cegas posteriormente projetavam mapas com referências externas, em outras palavras, a relação de posicionamento e dimensionamento entre estes itens em si, uma forma de pensar compatível com mapas bidimensionais.

Isto pode indicar que haveria um ponto de transição ou evolução no processo de desenvolvimento cognitivo, variável entre cada indivíduo, entre a percepção puramente tactual e a aquela que conta com a adição da compreensão espacial, dado o alto nível de entendimento espacial dos cegos adultos (HELLER; KENNEDY, 1990).

Este desenvolvimento influencia a capacidade de projetar pontos de percepção para fora de si, ou seja, posicionar o ponto em outros locais do espaço, e

perceber um arranjo diferente daquele que se teria a partir do local em que se está. Este conhecimento forma uma base, a qual, adicionada às técnicas de representação, leva a representar ou compreender uma perspectiva.

Heller & Kennedy (1990) afirmam que cegos de nascença não só são capazes de compreender um posicionamento sob o ponto de percepção de outra pessoa, como são capazes de representá-lo através de desenhos em linhas de relevo, mesmo que, como colocado no primeiro parágrafo deste tópico, não seja uma tarefa trivial nem universal, o que é mostrado pelo desempenho semelhante de pessoas que realizaram as mesmas tarefas enxergando, e até melhor se comparados à videntes vendados.

Assim, a experiência visual prévia não seria relevante na tarefa de compreender representar um outro ponto de vista. Porém, é importante mencionar que se trata de uma atividade que requer muito da memória, mesmo que não se ligue a aspectos verbais. Pelos tempos aferidos, a maioria dos cegos não só demoraram bem mais para executar as tarefas do que o grupo de videntes, como consultaram mais vezes o modelo original a ser representado. Mas as pessoas não são iguais em sua capacidade de compreensão espacial, o que leva a desempenhos variados, não importando seu grau de visão, especialmente tratando de imagens táteis de um ponto de vista externo.

No entanto, estes experimentos envolveram apenas pontos de vista ortogonais, ou seja, de frente, dos lados, de cima, e de trás. Não envolveram posições intermediárias, como quando se posiciona o ponto de vista alinhando uma das arestas ou um dos vértices com o centro do respectivo cubo. Os objetos táteis não mudam de forma quando sua orientação e relação ao perceptor é alterada nem diminuem de tamanho com a distância, como acontece com o que é captado pela visão.

Mesmo sistemas de representação gráfica tendem a deformar alguma dimensão para traduzir o mundo visual tridimensional para o imagético bidimensional sintetizado pelo criador da imagem. Neste contexto, a representação de um cubo pode ser um hexágono (com três linhas convergentes ao centro) e a de um copo, algo cilíndrico, poderia ser um retângulo. Isto dificulta a captação dos elementos em sua verdadeira grandeza e as relações entre suas formas, posições e orientações, requerendo em alguns destes sistemas, um treinamento prévio. Esta dificuldade se potencializa quando se parte para o mundo tátil sem referência anterior nem este

entendimento dos sistemas de conversão gráfica de elementos tridimensionais para representações bidimensionais.

3.3 Algumas soluções e aplicações

Os estudos na área de concepção de conteúdo para pessoas com deficiência visual abrangem diversas disciplinas e abordagens em busca da superação deste desafio cognitivo. Há pesquisas desde as áreas da computação e engenharia apresentando novas possibilidades de equipamentos às da psicologia e teoria da comunicação, analisando o processamento das imagens e utilização da memória nesta tarefa, por exemplo.

Transferir figuras para uma imagem em relevo demanda conhecimento da percepção tátil e da simplificação das imagens (ERIKSSON, 1999; SPIRANDELLI *et al.*, 2021). Atuando neste último problema, experimentos aplicados em disciplinas de biologia apontam para as dificuldades encontradas com a complexidade das imagens utilizadas.

A saída utilizada foi a simplificação e reconstrução das imagens transformando-as em desenhos estilizados bidimensionais antes de transformá-las em imagens táteis, como pode ser conferido na Figura 3:6, na qual, para a

Figura 3:6 Exemplo de simplificação pela substituição de imagem para impressão.



Fonte: adaptado de HASPER *et al.* (2015)

apresentação da evolução de hominídeos, a imagem original, um chimpanzé, foi substituída pela de um crânio e este é que foi impresso (HASPER *et al.*, 2015).

Neste mesmo estudo de Hasper *et al.* (2015), alguns materiais foram testados através de manufatura subtrativa em busca de uma melhor aderência e resistência do material impresso à manipulação ao longo do tempo. O conian (um polímero acrílico) e o MDF (*medium density fiberboard* – prancha de fibras de madeira em média densidade) foram descartados. O primeiro por gerar bordas afiadas, o outro por conter compostos químicos incompatíveis com a manipulação direta diária, como o formaldeído.

Usaram então o HDP (plástico de alta densidade) para a construção, o qual se mostrou resistente, facilmente limpo e de superfície suave com relevo de alta resolução.

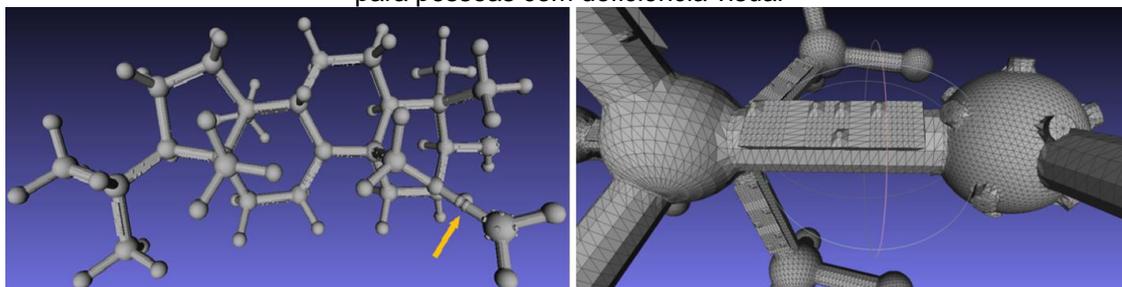
Como uma maneira de reproduzir os diferentes tons de preenchimento em cores, visto em variações do espectro luminoso nas aulas de astronomia, foram utilizadas diferentes alturas no objeto final, mas o conceito de cor em si precisou de explicações adicionais, como a comparação entre água quente e água fria para apresentar estas variações.

Os experimentos mostraram que conceitos científicos, tecnológicos, matemáticos e da engenharia são assuntos ideais para a abordagem tátil por se tratar de representações e descrições de fenômenos físicos. Como resultados, obtiveram um aumento de 25% nos valores das notas das avaliações dos alunos com deficiência visual em disciplinas experimentais, baseadas em laboratório, além do fato de que a combinação de tato e visão estimulou os alunos videntes.

Numa abordagem diferente, Lounnas *et al.* (2014), percebendo a dificuldade de um cego compreender as estruturas moleculares relatadas em artigos, desenvolveram um software capaz de detectar as imagens destas estruturas, isolá-las de outras figuras ao redor e convertê-las em um modelo tridimensional pronto para a impressão.

Para diferenciar os diversos tipos de átomos, utilizaram formas diversas, como mostrado na Figura 3:7: esferas para o carbono e o hidrogênio; e para os demais elementos, diferentes poliedros com diâmetros variando de 0,9 a 1,8 cm, por cujas superfícies outros poliedros, menores, foram distribuídos.

Figura 3:7 Modelo tridimensional de representação de molécula para pessoas com deficiência visual



Fonte: adaptado de LOUNNAS *et al.* (2014)

As ligações moleculares foram construídas através de prismas com três possíveis seções transversais, variando de quatro a doze lados. Acrescentando ou não algumas saliências transversais, este número passou para seis tipos de ligação. Por vezes, pequenas placas com informações adicionais em Braille foram acrescentadas às ligações para indicar, por exemplo, quando a molécula precisa ser dividida em partes por não caber no volume de construção da impressora.

Os estudos de Stangl, Hsu e Yeh (2015) buscaram uma maneira de entregar a produção de conteúdo à própria comunidade. Divididos em seis grupos de acordo com suas profissões, foram treinados em oficinas e postos à produção.

A atividade exigia cinco diferentes habilidades: conhecimento das deficiências, alfabetização, conhecimento de gráficos, gerenciamento de projetos e modelagem 3D, mas nenhum participante apresentou-se hábil em todas. No entanto, notou-se que eles se distribuíram em quatro funções: defensor do usuário final, tradutor de conteúdo, gerente de tarefas ou modelador e, a partir desses papéis, concluíram a tarefa projetual. Os autores propõem, como uma atividade futura, a análise de grupos multidisciplinares.

Os experimentos de Swaminathan *et al.* (2016) correm sob outro enfoque: o de automatizar o desenho e se concentrar na interação com o usuário. Se baseiam no fato de que pessoas com deficiências visuais precisam memorizar todo o conteúdo captado tatilmente antes de começar a analisá-lo. A carga de memória se torna maior a cada atualização das informações, como numa aproximação da imagem, rotação, ou mudança de perspectiva, tão comuns no universo digital.

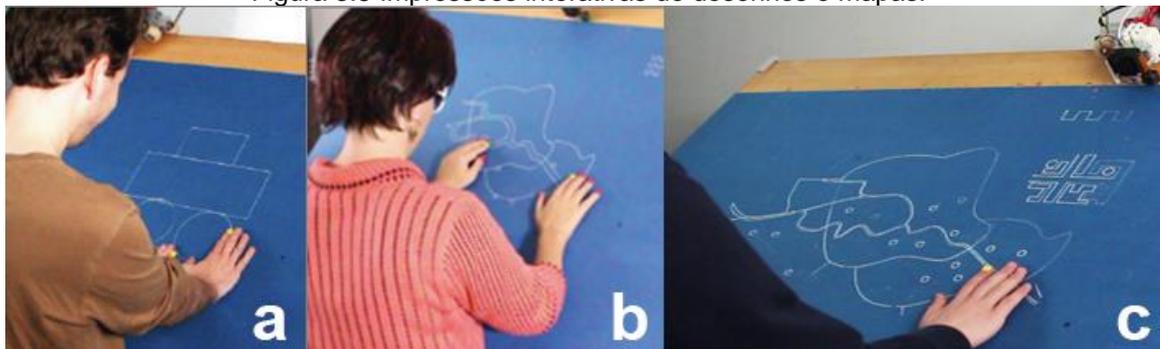
Para minimizar o problema, construíram um dispositivo interativo dotado de um painel tátil de 1,4 m por 1 m. Sobre ele um braço mecânico move uma caneta

extrusora, utilizando tecnologia FFF, para desenhar a informação solicitada por comandos de voz ou *inputs* gestuais captados por uma câmera. Mudanças na imagem geram novos desenhos em locais diferentes da superfície, o que permite que usuário não perca o acesso à informação anterior, preservada pela memória espacial.

O aparelho também pode “apagar” o conteúdo, assim como o usuário pode inserir novos dados através de uma caneta extrusora independente ou utilizando os dedos, em cujas pontas estão sinalizadores (marcadores).

A Figura 3:8 mostra estas interações: à esquerda, uma operação de desenho; ao centro, um teste de sequência de comandos para a criação do mapa e; à direita, as múltiplas informações distribuídas em diferentes locais da superfície.

Figura 3:8 Impressões interativas de desenhos e mapas.



Fonte: adaptado de SWAMINATHAN (2016)

Uma das vantagens levantadas pelos participantes cegos do estudo é que, ao contrário do Hiper Braille, dispositivos com displays de pontos que se erguem de acordo com a informação que se deseja, explorar um desenho de linhas é muito mais confortável do que um desenho composto por pontos.

Retirar as mãos da superfície enquanto a máquina desenha novas informações, assim como reencontrar essas informações, não é uma dificuldade que prejudica a utilização do dispositivo pois, como cita um dos participantes do estudo, “os cegos sabem onde põem as coisas e se não estiverem exatamente onde pensam ter colocado, basta mexer um pouco as mãos que as encontrarão” (BLISS, 2015; SWAMINATHAN *et al.*, 2016).

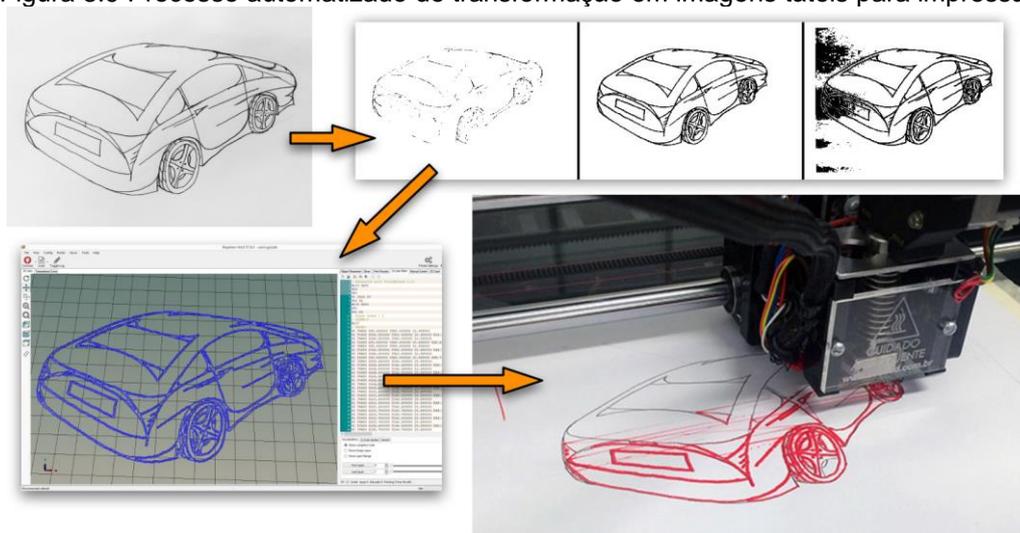
Para garantir a velocidade da impressão e assim, reduzir a interferência deste tempo na interação e na memória exigida do usuário, a equipe configurou o G-Code (linguagem que controla a máquina) para um alto consumo de material: 5 mm de

material para cada 10 mm percorridos. A cabeça de impressão se movimenta na velocidade de até 60 mm/s e de 20 mm/s enquanto imprime.

Também trabalhando com impressão tridimensional para gerar material tátil bidimensional, Teixeira, Barros, Teichrieb e Correia (TEIXEIRA *et al.*, 2016) lançaram a ideia de converter automaticamente desenhos feitos à mão livre ou por uma impressora gráfica em coordenadas de fabricação para uma impressora.

No estudo deles, a captação da imagem é feita por uma webcam posicionada acima da impressora 3D. As distorções da perspectiva da câmera são corrigidas, os contornos são detectados e a imagem é vetorizada, o G-Code é gerado e devolvido à impressora que então imprime exatamente sobre as linhas da imagem original (Figura 3:9).

Figura 3:9 Processo automatizado de transformação em imagens táteis para impressão



Fonte: adaptado de (TEIXEIRA *et al.*, 2016)

Avançando a ideia de tomar um desenho pré-existente e imprimir sobre ele, Brito, Teixeira, Barros, Correia e Teichrieb (2016) realizaram a impressão utilizando um filamento condutivo. Conectado a uma pequena placa de circuitos com saída por autofalante, as imagens impressas retornavam descrição e contexto daquele objeto cujo contorno fora tocado (Figura 3:10).

Em relação ao Braille, displays Braille tem alto custo e possuem um número limitados de caracteres apresentados por vez. Assim, o método atual mais utilizado para a produção de textos em Braille é a geração de relevo no papel (*embossing*). É

Figura 3:10 Contexto sonoro sobre impressão condutiva



Fonte: adaptado de (BRITO *et al.*, 2016)

uma tecnologia consolidada, sem inovação, otimização ou esforços para redução de custos durante a última década (LOCONSOLE *et al.*, 2016).

Adaptar este processo para a manufatura aditiva por tecnologia FFF normalmente gera uma retração proposital do filamento a cada deposição de cada ponto para evitar vazamentos nos espaços intersticiais. Dado o grande número de retrações e as relativamente altas forças mecânicas envolvidas, o filamento pode se romper e entupir durante o processo (LOCONSOLE *et al.*, 2016).

Para evitar este problema, Loconsole *et al.* (2016) criaram uma estratégia diferente: deslocar o bico extrusor para cima e para baixo durante o seu deslocamento horizontal de modo a criar os pontos em um fluxo único e contínuo. As amostras foram analisadas por usuários quanto à legibilidade, ao esforço necessário à leitura e quanto ao conforto de uso.

Como resultado, a estratégia criada melhorou bastante os resultados obtidos com impressoras de baixo custo, mesmo não produzindo pontos circulares, mas eles não superaram a qualidade obtida por uma impressora industrial a qual, em alguns aspectos superou também as notas atribuídas à amostra produzida pelo método tradicional de relevo no papel. O método também requer que uma camada inicial uniforme seja impressa e ela foi a responsável por 75% a 95% do tempo de impressão: os pontos utilizaram 25 s a 45 s dos 300 s a 480 s necessários para imprimir uma palavra de dez letras.

Zebehazy e Wilton (2014) fizeram um levantamento sobre o uso de gráficos (diagramas, tabelas, mapas e desenhos) no ensino de matemática. Os dados sugerem que o entusiasmo desses usuários de gráficos táteis seja proveniente do

sentimento de inclusão social, contra o sentimento geral de neutralidade dos usuários de gráficos tradicionais. Embora os estudantes tenham indicado que os gráficos ajudaram, as respostas qualitativas indicaram que os gráficos de maior complexidade inibiram seu uso.

Outras informações levantadas incluem que 57% dos usuários dos gráficos tradicionais e 92% dos usuários dos gráficos táteis sentiram que as descrições ao lado do gráfico melhoraram a sua compreensão. 37% dos usuários de gráficos táteis concordaram ou concordaram fortemente com descrições no lugar de gráficos, mas em nenhum momento os gráficos que geraram esta opinião foram descritos nem avaliados, apenas considerados de forma genérica.

Trabalhando a confecção do artefato de maneira diferente, Ferreira e Silva (2014) utilizaram uma impressora de tecnologia 3DP, a qual define as seções transversais através da aplicação controlada de aglutinante sobre material em pó, e uma fresadora para criar moldes para a confecção de mapas táteis de regiões brasileiras com dimensões variando entre 35 cm e 56 cm. Os moldes eram cobertos por uma folha de PVC a qual se conformava ao molde por calor. Os modelos gerados eram analisados por um revisor Braille e então alterados.

Concluíram que a variação de texturas depende de três fatores: criatividade, limitações dos equipamentos de fabricação e capacidade dos usuários em decifrá-las. Também chegaram aos 2 mm como limite máximo para a altura dos elementos táteis, sendo esta a altura ideal para os contornos e a sua metade, para as texturas. Afirmam ainda que a fresadora se saiu melhor do que a impressora devido à variedade de materiais com os quais se pode trabalhar, como o MDF.

Investigando como tridimensionalizar fotografias, Araújo e Santos (2015) optaram por reconstruir manualmente os elementos bidimensionais através de modelagem de linhas no espaço tridimensional com conversão posterior em elementos tridimensionais. Eles também utilizaram uma impressora de tecnologia 3DP para imprimir modelos entre 10 cm e 25 cm.

A primeira foto mostrava um pequeno bote no rio, amarrado a uma estaca de madeira. A figura em perspectiva não foi reconhecida pela pessoa com deficiência visual total, mesmo após instruções e descrições dos elementos. O primeiro problema relatado foi a falta de familiaridade com as formas de um barco, mas o voluntário também reclamou da textura áspera da impressão e da ausência de diferenciação

dela para delimitar os elementos da imagem. A segunda imagem, uma flor praticamente vista de frente, foi identificada quase imediatamente.

Noutra tentativa de traduzir imagens estáticas bidimensionais em imagens táteis tridimensionais, Sanches, Bueno e Macedo (2017) propuseram uma metodologia de tradução de figuras bidimensionais para imagens táteis e a testaram com designers na produção de conteúdo.

A metodologia seguiu um processo de três níveis: (1) representação gráfica, com a descrição geral e a lista de elementos da imagem; (2) objetos gráficos, na qual é realizada a tradução dos elementos (linhas, áreas, pontos e volumes) para suas versões táteis; e (3) estrutura espacial, com a composição destes elementos na imagem final (posição e escala). No entanto, ela é precedida de um fluxograma de verificação da necessidade de produção daquela imagem tátil baseado na importância, singularidade e segurança no manuseio da informação contida nela.

No primeiro nível, a representação gráfica, um formulário discrimina a imagem em tipos, quantidade de informação e formas contidas; e o processo de produção em recursos disponíveis. No nível dois, objetos gráficos, um outro formulário elenca quais elementos podem ser simplificados e quais podem ser utilizados, além de indicar uma transformação em volume tridimensional. No último nível, estrutura espacial, um novo conjunto de perguntas questiona o dimensionamento e o número de imagens táteis. Há um *checklist* final e uma relação de linhas, texturas e de setas de uso possível, mas não informa dimensões a serem aplicadas nestes dois últimos elementos.

A aplicação gerou resultado satisfatório, mas indicou problemas na compreensão das questões dos questionários e ausência de indicações de uso do Braille, legendas e explicações de termos e símbolos usuais.

Se bem concebidos, figuras táteis podem sustentar a aprendizagem em parte ou no todo e ajudar a preparar as crianças com deficiências visuais para uma transição sem tranquila para os gráficos táteis, cuja frequência de uso aumentará à medida que avançam na sua educação. Assim, se mostram como estimuladores do desenvolvimento cognitivo (HASPER *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2021; STANGL; HSU; YEH, 2015).

O processo de criação do material é enormemente beneficiado pela participação dos profissionais envolvidos na educação das crianças, pois as imagens

táteis devem ser produzidas de acordo com as habilidades cognitivas de cada criança e com o ambiente onde serão utilizadas (STANGL; HSU; YEH, 2015).

3.3.1 Fabricação de conteúdo tátil

Geralmente, os materiais para pessoas com deficiência visual são construídos manualmente (empregando a fixação de camadas de materiais de diferentes texturas, espessuras e alturas), ou através de processos de fabricação como a termoformação e a serigrafia.

Na termoformagem, a chapa de polímero é puxada por vácuo contra uma matriz que tem a forma desejada, a qual é assumida pela chapa. Esta matriz pode conter diferentes níveis de altura e, assim, a imagem passa a ser distinguível tanto pela forma quanto pelas diferenças de altura (ERIKSSON, 1999).

Outra técnica bastante utilizada é a chamada impressão térmica. Neste processo, um papel com uma película de emulsão termo sensível (também conhecido como Swell) recebe a imagem a partir de uma fotocopiadora, impressora ou caneta especial. Ele é então submetido à radiação infravermelha promovida por uma máquina fusora. Este processo gera um relevo constante nas partes pintadas da figura. Desta maneira, a técnica só permite um nível de relevo.

Um erro bastante frequente neste processo é o de copiar diretamente ilustrações por este processo, gerando imagens sem adaptação e, assim, difíceis de distinguir (ERIKSSON, 1999).

A serigrafia apresenta um processo de produção pela aplicação de tinta sobre uma tela matriz, a qual mascara a passagem desta tinta para uma aplicação restrita aos locais desejados para a formação da figura. É um processo longo e mais complicado do que a impressão térmica, mas seus resultados tendem a ser mais duradouros, embora seja mais cara em pequenas produções (ERIKSSON, 1999).

Outro método é a estampagem, pelo qual o papel é prensado por duas formas (as quais contém as formas positivas e negativas da figura) para a formação da imagem. Como este processo permite uma prévia impressão, a página gerada serve tanto para cegos como para usuários videntes e de baixa visão. Requer um alto investimento inicial para a criação das matrizes, mas permite uma alta tiragem. Este

método de fabricação é utilizado na confecção de livros táteis publicados na França (ERIKSSON, 1999).

Do ponto de vista dos processos artesanais, as soluções mais comumente encontradas são imagens construídas com diferentes materiais acessíveis nas redondezas. Muitas vezes a escolha do material se dá pela semelhança ou lembrança de uma característica específica. Há uma busca por traduzir ao toque uma sensação semelhante à impressão visual que aquele material transmite, porém, como a escala das texturas influencia a percepção realizada, raramente se pode utilizar os mesmos materiais do objeto representado (ERIKSSON, 1999).

3.3.2 Iniciativas e práticas

Linhas criam limites que determinam formas, as quais, por sua vez, transmitem o conceito. Porém, isto pode ser uma faca de dois gumes ao separar elementos que podem pertencer a uma forma maior. Por exemplo, em um mapa, a representação de um rio que corta o território pode alterar a compreensão das fronteiras deste território (ERIKSSON, 1999).

Laura Bliss (2015) entrevistou dois cientistas, o Dr. Joshua Miele, físico, especialista em acústica, do *Smith-Kettlewell Eye Research Institute* em São Francisco, e a Dra. Colleen Farmer, uma professora adjunta de Biologia Evolucionária e de Organismos da Universidade de Utah, além do arquiteto Chris Downey, proprietário de um escritório de arquitetura de São Francisco.

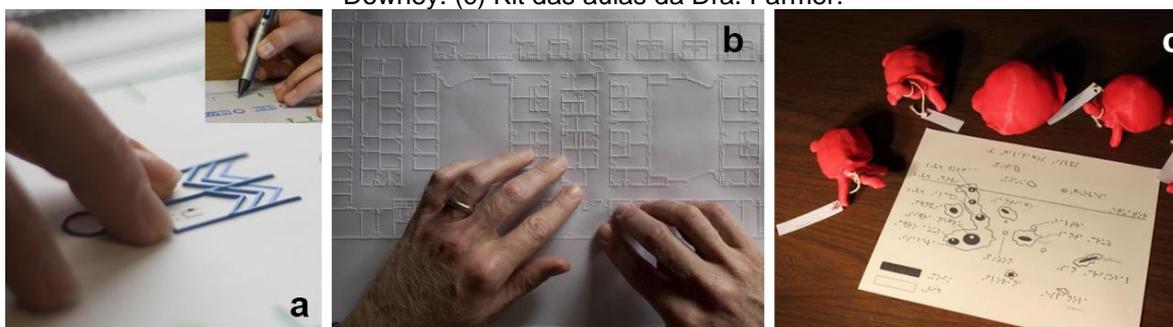
O Dr. Miele e o Sr. Downey apresentaram suas percepções, importantes depoimentos do ponto de vista de profissionais de áreas distintas com deficiência visual. O primeiro trabalha com mapas para pessoas de baixa visão e coloca que elas possuem boa orientação e aptidões de mobilidade e têm excelente cognição espacial, pois são naturalmente obrigadas a ter para se locomover. Este pensamento é compartilhado por um dos usuários do estudo de Swaminathan *et al.* (2016).

Ele coloca ainda em sua entrevista que a comunidade de pessoas com deficiências visuais ainda tem um baixo nível de alfabetização tátil, não no sentido de ler Braille, mas de ser capaz de explorar e compreender imagens táteis. Alerta para o fato de um mapa tátil não possuir capacidade de ampliação, como os mapas digitais,

então ele precisa ser projetado com cuidado sobre a quantidade de informações que carrega para reduzir os erros de interpretação.

Além disso, o uso do Braille, por vezes, limita a eficácia de um mapa, uma vez que possui apenas um tamanho de fonte, o qual é grande, mas que o componente de áudio, no seu caso, emitido por uma caneta com pequenos autofalantes, ajuda neste ponto ao compor mapas com instruções auditivas (Figura 3:11a).

Figura 3:11 (a) Mapas táteis desenvolvidos pelo Dr. Miele. (b) Planta baixa tátil criada por Chris Downey. (c) Kit das aulas da Dra. Farmer.



Fonte: adaptado de BLISS (2015)

Downey coloca outro ponto de vista: o dos desenhos construtivos arquitetônicos (Figura 3:11b). O primeiro depoimento apresentado é que os desenhos poderiam ser difíceis de compreender se sua formação profissional não fosse anterior à época em que se tornou cego. Sua compreensão é facilitada por seguirem os padrões determinados pelas normas técnicas.

Porém, a informação proveniente das diferentes cores, detalhes apontados por setas longas e linhas de grade, instrumentos de auxílio para videntes, se tornam ruído de informação para um cego. Assim, indica que os desenhos precisam ser simplificados e limpos de informações desnecessárias. Explorar perspectivas axonométricas, por exemplo, segundo ele, é divertido, mas muito pouco útil.

Uma informação bastante interessante colocada por Downey é que, quando se vê um desenho técnico ou um mapa, tem-se primeiramente um entendimento geral do espaço e desta compreensão se segue para os detalhes. Porém, quando se lê com os dedos, começa-se com os detalhes em primeiro lugar e não se pode ter uma ideia do que esse detalhe é. Tem-se que remendar cada detalhe ou encontrar alguma

estratégia para perceber o quadro geral. Afirmação compartilhada por Götzelmann (2016).

A Dra. Farmer, a única entrevistada vidente, foi convidada a dar uma oficina para pessoas com deficiência visual. Apesar de várias ciências serem bastante visuais, a sua área, morfologia, pode ser facilmente sentida através de amostras. Nas informações para as quais não havia amostras, kits foram gerados contendo aulas em Braille, modelos tridimensionais, mapas táteis e jogos. Em um deles, sobre evolução, a transmissão da informação é feita por modelos das tartarugas encontradas nas Ilhas Galápagos, assim como um mapa tátil com instruções em Braille das localizações das diferentes espécies representadas (Figura 3:11c).

3.3.3 Primeiros contatos e experiências pessoais presenciais

Os relatos e experiências individuais ou de pequenos grupos, abrem a compreensão para a percepção deste mundo que os videntes pouco compreendem. Por este motivo, o segundo passo na construção do conhecimento foi contatar estes grupos e aprender com eles um pouco da constituição do dia a dia e seus problemas.

Assim, em busca de familiarização com as necessidades do público para nortear a pesquisa e definir objetos de estudo, foram realizadas visita, oficina e presença em palestra em locais diversos. Estes primeiros contatos geraram informações a respeito dos usuários, e das dificuldades de quem gera conteúdo tátil.

3.3.3.1 *Visitas na APEC*

O primeiro contato ocorreu em uma visita à Associação Pernambucana de Cegos (APEC). Ele ocorreu em agosto de 2018 e foi guiada por um dos diretores. Segundo ele, a APEC é uma associação onde os sócios contribuem financeiramente para o seu sustento. Como dos mais de 1200 associados (apenas por volta de 100 estavam adimplentes) o funcionamento também é garantido por financiamentos e parceiros de projetos, como o Banco do Brasil e o Ministério do Trabalho. Promovem

cursos de tiflogia⁶ para turmas de dez alunos, em média, onde são apresentados o Braille, estratégias de orientação espacial e mobilidade, uso do cão guia, desportos, independência nos afazeres diários, e noções de direito e legislação aplicados às pessoas com deficiência.

Uma das informações apresentadas foi o termo correto para tratamento como sendo “pessoas com deficiência visual”. Este termo abrange cegos e pessoas com baixa visão ao mesmo tempo que apresenta uma percepção como pessoa. Segundo o diretor, deficiente é o espaço por não se adaptar às pessoas. A acessibilidade deve acontecer em todos os níveis, desde o arquitetônico, promovendo, por exemplo, rampas que ajudam não apenas as pessoas com deficiência, mas também as mulheres grávidas e os idosos; passando pela acessibilidade aos transportes e chegando à acessibilidade programática, a que permite o acesso aos conteúdos do conhecimento, como a audiodescrição, que permite a compreensão de material audiovisual.

O diretor também comentou que a Convenção da ONU sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência foi assinada por diversos países, incluindo o Brasil, mas que não vêm sendo respeitada, o que levou a penalização do país por não tratar os cidadãos com equidade (tratar os diferentes como tais para se alcançar a igualdade).

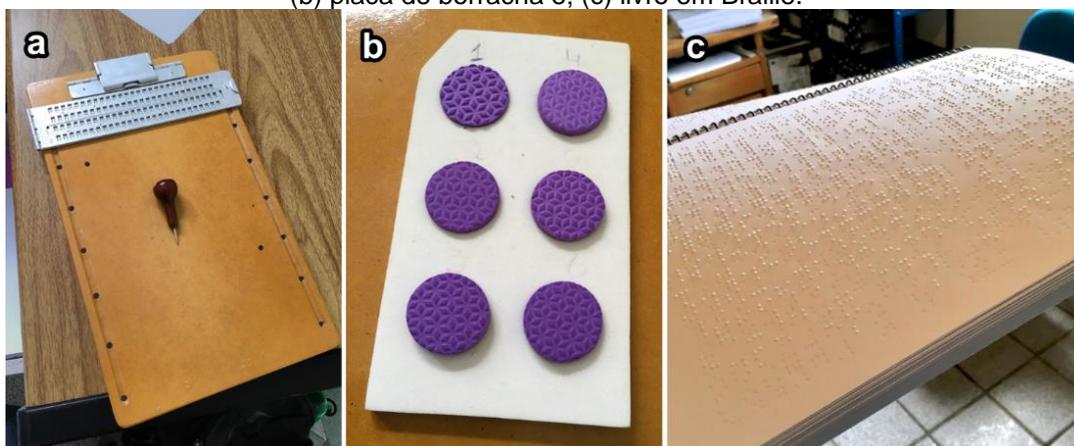
Na visita, foram mostrados equipamentos utilizados no processo de alfabetização como a prancheta onde o papel é preso e perfurado manualmente utilizando a reglete, um guia para a perfuração dos seis pontos da célula do Braille. Tal processo exige que se escreva o texto em Braille em ordem inversa pois o verso da perfuração é que apresentará o relevo saliente que será sentido pelo leitor (Figura 3:12a).

O primeiro contato com o Braille é realizado em uma placa de borracha EVA com aproximadamente 12 cm de comprimento e seis discos texturizados removíveis do mesmo material. A presença dos discos em suas posições indica o caractere desejado (Figura 3:12b).

Há também velhas máquinas de escrever de metal e algumas impressoras de Braille no local. Visualmente semelhantes a impressoras a jato-de-tinta, porém um

⁶ Estudo sistemático ou abordagem especificamente aprofundada relativa à problemática da cegueira, segundo Guerreiro (2018).

Figura 3:12 Instrumentos utilizados na alfabetização em Braille: (a) prancheta para escrita manual; (b) placa de borracha e; (c) livro em Braille.



Fonte: o autor

pouco maiores, as impressoras custavam na época entre R\$ 15.000 e R\$ 30.000 (esta última com impressão simultânea de tinta e relevo) por unidade e geram textos que, em média, ocupam quatro vezes mais área impressa do que um texto comum em tinta, mesmo com uma impressão na frente e no verso da mesma folha (Figura 3:12c). Segundo o guia, naquele momento existiam cerca de 200 dessas impressoras espalhadas pelo estado sem uso por falta de operadores.

Numa passagem rápida pela sala, o presidente da instituição, acrescentou que a sensibilidade tátil de um cego é normalmente superior à de um indivíduo vidente, no entanto, a leitura tátil está diretamente ligada à idade em que a pessoa perdeu a visão e ao trabalho desempenhado anteriormente. Como exemplo, citou que um mecânico pode ter mais dificuldades de perceber o relevo do Braille por ter perdido parte da sensibilidade das pontas dos dedos devido à constante exigência de uso forçado das mãos. Ainda acresceu que a leitura prolongada deixa seus dedos dormentes, o que também reduz a sensibilidade e limita a capacidade de compreensão pelo tempo.

3.3.3.1.1 Professores

Em uma segunda visita, alguns dias depois, participou-se de um dia de aula da instituição, pode-se conversar com duas professoras da APEC, uma ministrando aula de Braille, e a segunda, de tecnologias assistivas.

A primeira professora comentou que em sua época de escola não havia tanta preocupação com acessibilidade. Cega, estudou em uma escola comum, mas a família tinha condições financeiras de conseguir material em Braille. A parte visual do ensino era aprendida via mediação de videntes. Citou o Multiplano e o geoplano, como materiais auxiliares no aprendizado de geometria e de matemática.

Acredita-se que o geoplano tenha sido criado em 1961 por Caleb Gattegno. Trata-se de um termo genérico para uma base normalmente retangular, na qual são fixados pinos, pregos ou parafusos equidistantes. Utiliza-se anéis de borracha, cordões ou outros fios para formar as figuras prendendo-os aos pinos (COSTA; PEREIRA; MAFRA, 2011). Muitas vezes caseiro, pode ser construído sob uma variedade de materiais e tem custo proporcional a essa escolha de elementos.

Multiplano é o nome da versão de um fabricante específico do geoplano. É comercializado em *kits* com diversas placas com diferentes formas, filamentos de polímero que se conectam aos pinos e são utilizados para representar retas e curvas e acompanha vídeo aulas com dezenas de temas. Enquanto um geoplano pode ser construído em casa, o Multiplano custa mais de R\$ 400,00 (MULTIPLANO, 2020).

Ela também citou que nunca tocou em algo impresso em 3D, então não poderia opinar sobre isso.

A segunda professora apresentou uma aula sobre tecnologia assistiva e elencou diversas delas existentes, comentando-as, do seu ponto de vista como pessoa cega. Assim, em suas palavras durante a aula,

- leitores de tela prometiam revolucionar, mas ela não os considera tão bons;
- OCRs⁷ são problemáticos, principalmente com imagens;
- a acessibilidade dos *smartphones* tem melhoria contínua e ajudam bastante, pois as tecnologias de voz tornam a vida prática para uma pessoa com deficiência, trazendo autonomia;
- Há equipamentos adaptados através de transmissão de seus resultados por áudio, como balanças e tensiômetros;
- impressoras de braille exigem formatação específica do texto pois o braille ocupa mais espaço;

⁷ Sigla em inglês para Reconhecimento Ótico de Caracteres ().

- o sistema operacional Dosvox permite que uma pessoa cega utilize um computador, mas só funciona com programas próprios;
- o leitor de tela Jaws é bastante eficiente, porém caro; o NVDA é uma boa e gratuita alternativa.
- Uber e audiolivros ajudam, mas na sua opinião, não são pensados para pessoas com deficiência visual.

Em uma conversa informal após a aula, citou que as imagens bidimensionais são mais fáceis de reconhecer por tato quando possuem poucos detalhes, pois, segundo ela, este detalhamento costuma confundir mais em formas bidimensionais do que em tridimensionais.

Falou que teve dificuldades de aprendizado quando ele exigia a interpretação de imagens. Na disciplina de biologia, ela lembrou da dificuldade e constrangimento com os conteúdos relacionados a bactérias, órgãos e sistemas, principalmente o sistema reprodutor.

Em matemática, conteúdos em planos cartesianos muitas vezes não eram descritos, assim como gráficos. As retas que compõem as fórmulas, os números e os símbolos tornavam a compreensão um desafio. Pelo mesmo motivo, a mesma expressão adjetiva foi atribuída à tabela periódica.

3.3.3.2 *Oficina de geração de mapas táteis*

Com o intuito de vivenciar o processo de construção de material tátil, em fevereiro de 2019, participou-se de uma oficina de produção de mapas táteis, ministrada por um professor do IFPE, a qual se baseia em suas experiências na produção de conteúdo tátil em projetos de extensão transcorrido em anos anteriores. Ela foi dividida em duas partes: uma introdução ao tema e apresentação de mapas e outras ilustrações anteriormente produzidas; e criação de um mapa tátil.

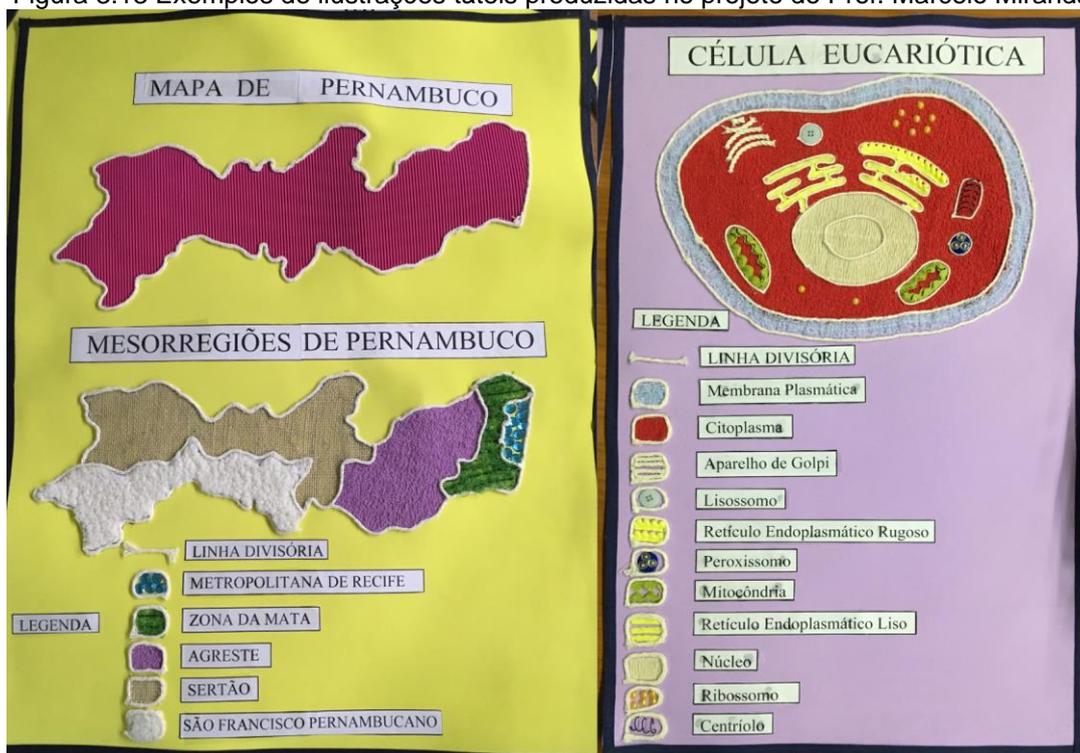
Na primeira parte, foi colocada a diferença entre integrar (permitir presença) e incluir (fazer participar). Foi citada parte da Lei 13.146, de julho de 2015, conhecida como Estatuto da Pessoa com Deficiência, a qual dispõe sobre o direito à educação inclusiva, à cultura, à informação, à comunicação, entre tantos outros (BRASIL, 2015).

A aula também incluiu transformação dos recursos materiais para a adaptação dos conteúdos para a mídia tátil. Neste processo, o professor citou que, quanto mais distintas forem as texturas, mais fácil será a leitura. Citou as relações de dimensões

entre, por exemplo, a Amazônia e o Pantanal, como informações que só conseguem ser transmitidas em sua grandeza com o auxílio de imagens táteis.

Então apresentou diversos mapas e imagens produzidas em seu projeto (Figura 3:13). Eram ilustrações produzidas pela colagem de materiais diversos, de botões de roupas a cordões de algodão, passando por estopa, velcro e outros materiais têxteis, sobre uma folha de EVA.

Figura 3:13 Exemplos de ilustrações táteis produzidas no projeto do Prof. Marcelo Miranda



Fonte: o autor

As legendas eram impressas em impressora jato de tinta sobre papel sulfite e cobertas por uma folha de polímero transparente onde estava gravado o mesmo conteúdo escrito em Braille. Ao lado do papel se encontravam pequenas amostras dos materiais correspondentes cercados pelo cordão, o qual fazia por todo o painel a função de estrutura de contorno.

Neste ponto da oficina, os participantes foram convidados a criar um mapa tátil. Para isto, foram divididos em duas equipes: a primeira ficou responsável pelo recorte dos materiais e fixação na folha de EVA enquanto a segunda gerou a legenda em Braille manualmente utilizando uma reglete e uma folha de polímero transparente.

A criação da parte visual não diferiu de outras produções semelhantes. No entanto, a construção do texto em Braille revelou-se uma tarefa que necessita uma alta carga de concentração e atenção. Como citado anteriormente, por ser um caractere saliente em altura, o Braille requer que seus pontos sejam pressionados pelo verso da folha do material utilizado, o que leva a uma construção espelhada dos caracteres e em sentido reverso das palavras para a sua escrita correta. Além disto, um erro na contagem das letras ou na furação de um dos seis pontos de cada caractere leva à perda de toda a palavra, no mínimo, visto que é uma composição oriunda de interferência física definitiva.

Foram necessárias algumas horas de esforço conjunto em uma tarde para produzir um/o mapa mostrado na Figura 3:14. Na imagem, é possível observar, além da visão geral do mapa e sua legenda, os detalhes dos materiais utilizados nestes dois locais, bem como a construção da legenda em Braille com posterior fixação no cartaz sobre a legenda impressa em tinta.

Figura 3:14 Mapa produzido na oficina do Prof. Marcelo Miranda



Fonte: o autor

3.3.3.3 *Palestra do NACE*

Em fevereiro de 2020, outros processos de construção de material tátil foram apresentados em uma palestra sobre este assunto, promovida pelo Núcleo de Acessibilidade da UFPE (NACE), a qual visava a difusão de conhecimentos na produção de material didático para pessoas com deficiência visual.

Na palestra foram colocadas as diferenças entre a deficiência congênita e a adquirida bem como alguns tipos de baixa visão, aquela em que não há correção por lentes: central, lateral e/ou com manchas além da visão tubular.

O objetivo era alertar para as distinções e, conseqüentemente, para diferentes soluções, pois nem sempre apenas aumentar o tamanho da letra é suficiente. Como não existe um padrão para a baixa visão, não existe padrão para as soluções. Para alguns indivíduos, um fundo escuro é mais agradável, especialmente para aqueles com fotofobia; para outros, bordas sem brilho em volta das linhas lidas facilitam a compreensão de um texto.

Corroboraram em alguns conhecimentos adquiridos nas visitas à APEC, como a do espaço triplo a quadroplo ocupado por um texto, quando impresso em Braille e dos custos de uma máquina de escrever em Braille (R\$ 5.000, na ocasião).

Também reforçaram a necessidade de uso da instrução do tópico (3), da página 57, descrever os elementos em detalhes de aparência e funcionalidade, através do uso de legendas junto às figuras ou em folhas separadas, como também foi acompanhado no material produzido na oficina do professor Marcelo Miranda (vide tópico anterior). Mas também colocaram a importância de descrever os cenários dos acontecimentos, como a própria sala de aula (cores, tamanhos, disposição de objetos, quantidade de pessoas etc.).

Citaram diversas tecnologias que podem auxiliar a inclusão de pessoas com deficiência visual em uma sala de aula, como o uso de TVs para ampliação de conteúdo e teclados com conexão *bluetooth* para a escrita, mas também colegas de sala traduzindo materiais e o compartilhamento da tela projetada do professor, pois alguns softwares de reunião e compartilhamento permitem a ampliação da imagem. Outra solução é o compartilhamento prévio dos slides com as PDVs para que possam estudá-lo a seu tempo.

Os smartphones são grandes auxiliares com seus leitores de tela, mas uma impressora fusora, também conhecida como impressora térmica (vide descrição do

processo no tópico 3.3.1, na página 69), também pode ajudar bastante (Figura 3:15). Porém, informaram que uma única folha do papel utilizado nesta impressora custava R\$ 8,00 na ocasião da palestra.

Outro problema percebido é que, como citado por Eriksson (1999), se as imagens são aplicadas sem preparação prévia, haverá uma distorção no conteúdo. Como a impressora gera altura apenas nas partes escuras da imagem, uma gradação de claro para escuro, normalmente utilizada para dar volume ao desenho, gera esta distorção ao elevar um lado em detrimento do outro se guiando pela luminosidade do desenho e não por sua forma, como mostrado no lado esquerdo da Figura 3:15.

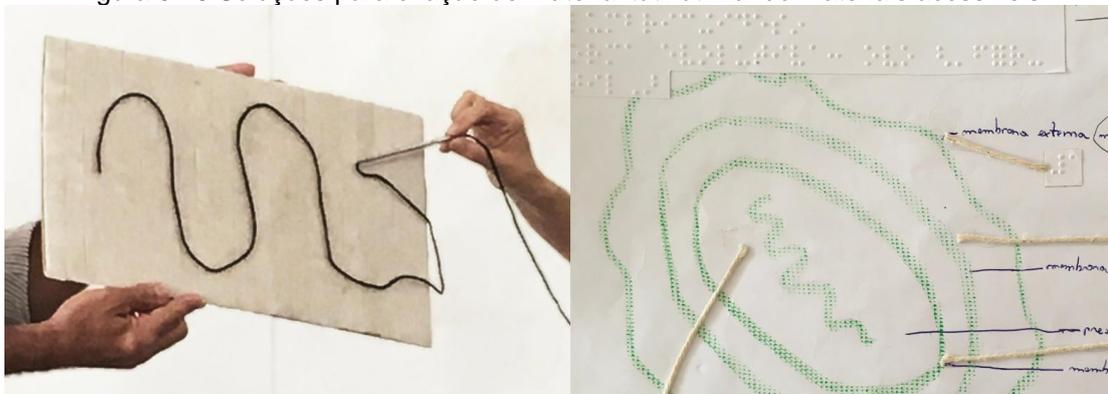
Figura 3:15 Material criado por máquina fusora



Fonte: o autor

Neste ponto compensam técnicas de baixo custo como o uso de lápis cera sobre papel com uma tela de trama de náilon entre eles, para gerar uma textura pontilhada no desenho gerado; e lã, passando pelo corpo oco de uma caneta para

Figura 3:16 Soluções para criação de material tátil utilizando materiais acessíveis



Fonte: o autor

guiar sua colocação sobre a parte áspera do velcro, como um meio de criar desenhos de contorno rapidamente (Figura 3:16).

Por fim, apresentaram exemplos da aplicação de pranchas de MDF recortadas e gravadas por uma cortadora a laser.

3.4 Manufatura aditiva

As tecnologias e processos de produção foram o passo seguinte. E aqui entra a manufatura aditiva, um dos processos de produção mais recentemente criados. Ele permite a fabricação diretamente através da deposição e acúmulo de camadas de materiais.

Seu conceito básico data do século 19, quando Blather propôs a construção de modelos topográficos em camadas. Na década de 1950, Munz criou um sistema de filtragem para uma luz emanada sobre emulsão e assim aperfeiçoou a construção de objetos em camadas. Esta técnica seguiu evoluindo e na década de 1970 os feixes de luz passaram a ser aplicados em resinas líquidas fotossensíveis. Na década de 1980 o controle dos feixes e, conseqüentemente, das formas passou a ser executado por computador e, em 1987, a empresa 3D Systems lançou o primeiro equipamento comercial de prototipagem rápida, o *Stereolithography Apparatus* (VOLPATO, 2007) que aplicava a base da tecnologia Estereolitografia que, pelo nome do equipamento, passou a ser conhecida como SLA.

Vários outros processos foram desenvolvidos nos anos seguintes se utilizando de diferentes materiais e reações químico-físicas para criar os objetos. Eles podem ser classificados de acordo com o material utilizado, segundo Volpato (2007), em três grupos: (1) aqueles baseados em líquidos, (2) os baseados em sólidos, e (3) os que se baseiam em pós.

No primeiro grupo se encontram a citada Estereolitografia (SLA), que funciona através do endurecimento de uma resina fotossensível por um laser direcionado pelo computador para os pontos desejados; a Fabricação por Filamento Fundido (FDM ou FFF), na qual um filamento de polímero é derretido e posicionado nos locais especificados pela camada do objeto, entre outros.

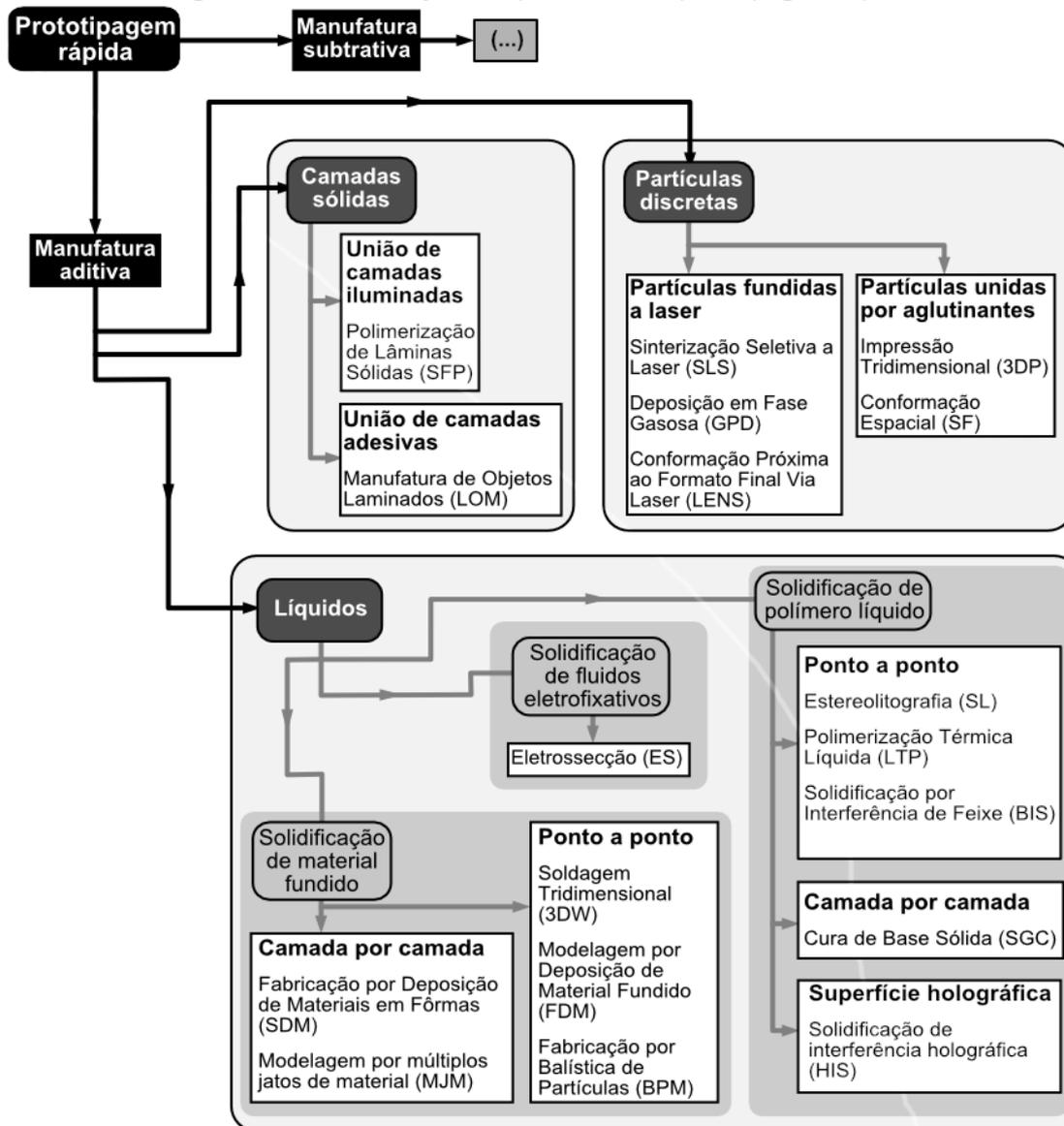
No segundo grupo, estão alocados aqueles que se utilizam da deposição de camadas inteiras do material de uma só vez, como a Manufatura Laminar de Objetos (LOM), onde um papel adesivo ou chapa de outro material é posicionado e fixado sobre a camada anterior e então cortado por um laser no formato do desenho daquela camada.

No grupo que se baseia em pós, se posicionam a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), na qual um laser derrete apenas a superfície das partículas que estão dentro do desenho da camada, fazendo-as se unirem; a Impressão Tridimensional (3DP), que joga aglutinante sobre o pó a cada camada, como uma impressora jato de tinta o faz com a tinta sobre o papel; e a Fabricação da Forma Final a Laser (LENS), onde um laser funde completamente partículas de metal depositadas no local por onde ele passa, entre outros (VOLPATO, 2007). Destes, os mais populares atualmente são a FFF, a SLA e a SLS (MAZURCHEVICI *et al.*, 2021).

A Figura 3:17 apresenta uma classificação mais abrangente incluindo processos menos comercializados. Nela, os autores acrescentaram a Eletrossecção (ES), a Fabricação por Deposição de Materiais em Formas (SDM), a Soldagem Tridimensional 3DW), a Fabricação por Balística de Partículas (BPM), a Polimerização Térmica Líquida (LTP), a Solidificação por Interferência de Feixe (BIS), a Cura de Base Sólida (SGC) e a Solidificação de Interferência Holográfica (HIS) ao grupo dos processos baseados em líquidos. A Polimerização de Lâminas Sólidas (SFP) foi adicionada ao grupo que trabalha com camadas sólidas e no grupo de partículas discretas foram acrescentadas a Deposição em Fase Gasosa (GDP), e a Conformação Espacial (SF).

Nos últimos anos, alguns novos processos surgiram e sucumbiram. No entanto, muitas das novas tecnologias são variações de outras já existentes que evoluem em alguns métodos (como a forma de aplicação e reutilização do material ou o uso de aditivos) ou mesmo apropriações de nomes, como o termo FDM (*Fused Deposition Modeling* - Modelagem por Deposição de Material Fundido), patenteado pela Stratasys, sua criadora, e o termo livre equivalente FFF (*Fused Filament Fabrication* – Fabricação por Filamento Fundido).

Figura 3:17 Classificação dos processos de prototipagem rápida.

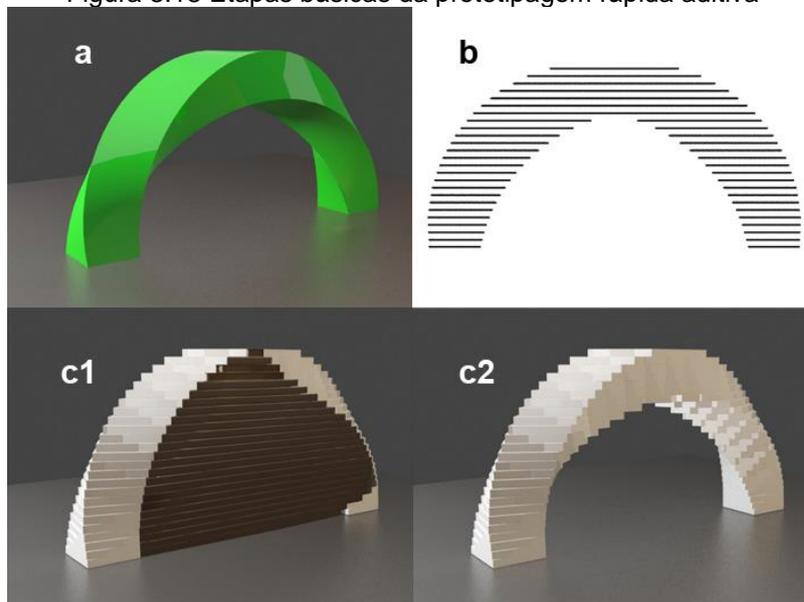


Fonte: adaptado de MELLO; SILVA; SEBASTIÃO, 2006.

Independentemente do processo, a prototipagem passa basicamente por três etapas: a modelagem, onde o projetista constrói virtualmente a peça e exporta para um formato digital específico (Figura 3:18a); o fatiamento, quando o equipamento recebe o arquivo digital e fatia o modelo em seções transversais de espessura igual à precisão de camadas da máquina (é nesta fase que a maioria das características estruturais da peça a ser produzida é determinada) (Figura 3:18b) e; a impressão em si, etapa na qual o modelo virtual se materializa, camada a camada (Figura 3:18c1). Alguns processos e materiais requerem uma quarta fase na qual ocorre a retirada de

materiais de suporte e a ação de acabamento da peça (Figura 3:18c2) (BARROS, 2012).

Figura 3:18 Etapas básicas da prototipagem rápida aditiva



Fonte: BARROS (2012).

Os processos de prototipagem rápida aditiva apresentam diversos ganhos em relação aos processos subtrativos. Apresenta a possibilidade de construção de peças de grande complexidade interna e/ou de componentes separados, uma vez que o processo é aditivo. Além disso, permite uma construção rápida (1 a 72 h) de um modelo, portanto, podendo ser facilmente utilizada para análises de uso, testes em túneis de vento e análise de pontos de tensão. Produz também uma melhoria na comunicação entre os envolvidos no processo de produção do produto e a redução da possibilidade de falhas (ĆWIKŁA *et al.*, 2017; GORNI, 2001; VOLPATO, 2007).

Ainda, o ganho na precisão dos modelos, chegando a milésimos de milímetro em um processo quase completamente automatizado é um efeito de redução no custo de produção pela redução da possibilidade de erros e falhas. Modeen (*apud* MELLO; SILVA; SEBASTIÃO, 2006) apresenta a possibilidade de instalação em ambientes não industriais devido ao baixo ruído e desperdício. Lino e Neto (LINO *et al.*, 2001) citam a dispensa de funcionários especializados e; Sass e Oxman (2006) colocam que a precisão da fabricação por manufatura aditiva permite a construção de conexões com menos atrito (ĆWIKŁA *et al.*, 2017; LINO *et al.*, 2001; MELLO; SILVA; SEBASTIÃO, 2006; SASS; OXMAN, 2006).

Como desvantagens, são citadas a qualidade de acabamento inferior à produção por usinagem; a limitação da quantidade de peças produzidas pelo seu custo; possíveis distorções ligadas ao calor da produção (VOLPATO, 2007); limitação do protótipo pelo volume da impressora; o alto custo da modelagem em metal (GORNI, 2001); a fragilidade dos pontos de ligação entre as camadas (ĆWIKŁA *et al.*, 2017) e de partes menores que 1 mm (FLORIO; ARAÚJO; SEGALL, 2008).

Com suas vantagens e desvantagens intrínsecas, a impressão tridimensional tem ganhado grande interesse da sociedade devido à proliferação de dispositivos de baixo custo (a maioria deles da tecnologia FFF), assim como a utilização de software de código aberto. Oropallo e Piegl (2016) lembram que a cobertura da mídia sobre o assunto tende ao sensacionalismo e, baseando-se em artigos populares, cria-se a impressão de que essa tecnologia pode ser a saída para todos os problemas. Aplicações exóticas, como a bio-impressão⁸, aparecem nos noticiários todos os semestres. Numa posição mais realista, os mesmos autores listam os dez principais problemas a serem enfrentados por essa tecnologia nos próximos anos:

- (1) **otimização da forma:** encontrar a melhor maneira de preencher o interior do material mantendo parâmetros como massa, volume e resistência à compressão, à tensão e à quebra;
- (2) **design para impressão 3D:** mudar o pensamento e o processo de design para considerar o uso de múltiplos materiais, construção e mecanismos já unidos, e outros benefícios únicos da prototipagem aditiva;
- (3) **pré e pós-processamento:** as dificuldades encontradas nas fases de preparação e processamento da peça, e aquelas encontradas após a impressão, como a retirada do material de suporte;
- (4) **metodologias de impressão:** a escolha do tipo e manufatura da peça tem impacto significativo nas propriedades físicas e mecânicas;
- (5) **controle de erros:** redução dos erros nas três categorias: preparação dos dados, erro de processamento e erro na disposição do material;
- (6) **impressão multimaterial:** as seções contendo diferentes materiais podem ser vistas como áreas distintas bem delimitadas, enquanto um modelo

⁸ Fabricação por posicionamento de camadas de materiais biológicos, químicos e de células vivas de forma precisa visando a construção de estruturas biológicas tridimensionais (MURPHY; ATALA, 2014).

funcional deveria conter uma gradação suave entre os materiais onde as fronteiras não são tão facilmente identificáveis;

- (7) **problemas na manutenção do hardware:** construção de configurações corretas da impressora no que diz respeito à energia, aos materiais, e a restrições específicas do processo;
- (8) **orientação das peças:** a posição na qual a peça é impressa pode maximizar ou minimizar as propriedades físicas e o consumo de material;
- (9) **fatiamento:** geração do efeito escada ou serrilhado e perda de precisão;
- (10) **velocidade:** não apenas o tempo de levantamento das camadas, mas considera também o número de peças sendo produzidas simultaneamente e o tempo do pré e do pós-processamento.

Esses problemas podem afetar os resultados e, portanto, requerem atenção durante o processo de design.

3.4.1 Fabricação por Filamento Fundido (FFF)

Com nome originado da sigla em inglês para *Fused Filament Fabrication*, esta tecnologia também é bastante conhecida como Deposição de Material Fundido (FDM – *Fused Deposition Modeling*, na sigla inglesa), mas como este termo foi registrado e patenteado pela Stratasys e o termo FFF passou a ser utilizado em seu lugar, este último será o adotado nesta pesquisa para se referir a esta tecnologia.

Foi criada pela Stratasys em 1988, a qual deteve a propriedade intelectual até 2009. A empresa optou por direcionar a tecnologia para o setor industrial e não investiu muito no público doméstico.

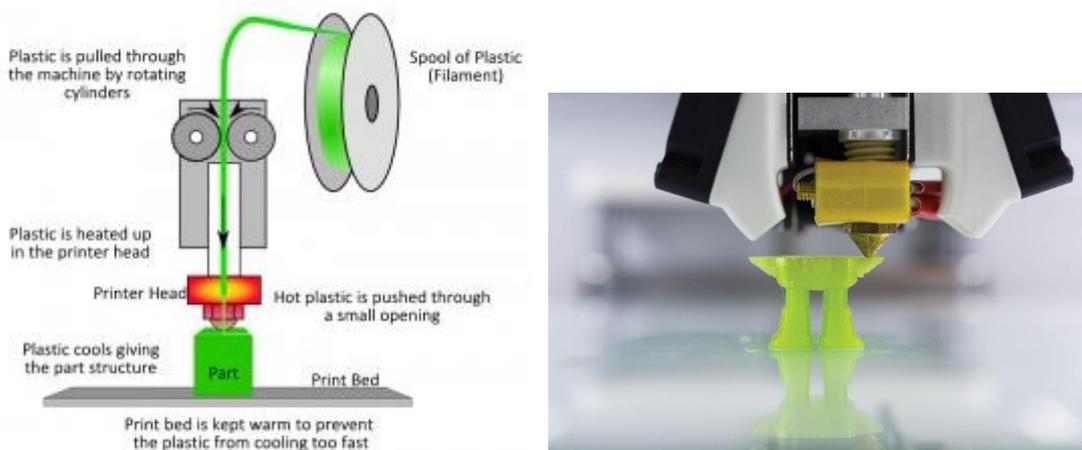
Quando a patente expirou, o seu desenvolvimento foi fortemente impulsionado por entusiastas, principalmente pela iniciativa RepRap, a qual tinha como motivação construir uma impressora capaz de se replicar. Apesar de não terem tido sucesso, suas ações criaram um ecossistema de desenvolvimento de fabricação aditiva caseira que se popularizou e tornou a FFF a tecnologia mais acessível em termos tanto de custo de equipamento quanto de insumos utilizados e o mercado foi inundado por impressoras e suprimentos na última década. (KUZNETSOV *et al.*, 2018).

Atualmente, ela está entre as mais usadas e também possui um das maiores taxas de crescimento de utilização baseada na melhoria contínua da performance e redução de custos (TURNER; STRONG; GOLD, 2014). Por este motivo, esta foi a tecnologia escolhida para o desenvolvimento deste estudo, visto que se busca uma alternativa acessível aos métodos tradicionais de confecção de imagens.

3.4.1.1 Processo

Nesta tecnologia, o material, normalmente um filamento de polímero, segue para uma câmara aquecida. Lá, ele é derretido até o estado pastoso e passa pelo bico de extrusão, o qual atua como matriz de extrusão, limitando e definindo a dimensão de saída. Então o material é derramado pelas posições desejadas (como mostra a Figura 3:19), descrevendo o desenho de uma seção transversal do objeto a ser impresso através do deslocamento do bico extrusor, ou da mesa onde a peça fabricada se apoia, ou de ambos.

Figura 3:19 À esquerda, processo de produção por FFF. À direita, uma peça sendo produzida nesta tecnologia.



Fontes: <http://enablingthefuture.org/wp-content/uploads/2015/02/printing-in-progress.jpg> e <https://nvbots.com/wp-content/uploads/2014/07/print-diagram-300x269.jpg>. Capturadas em 15 de julho de 2017

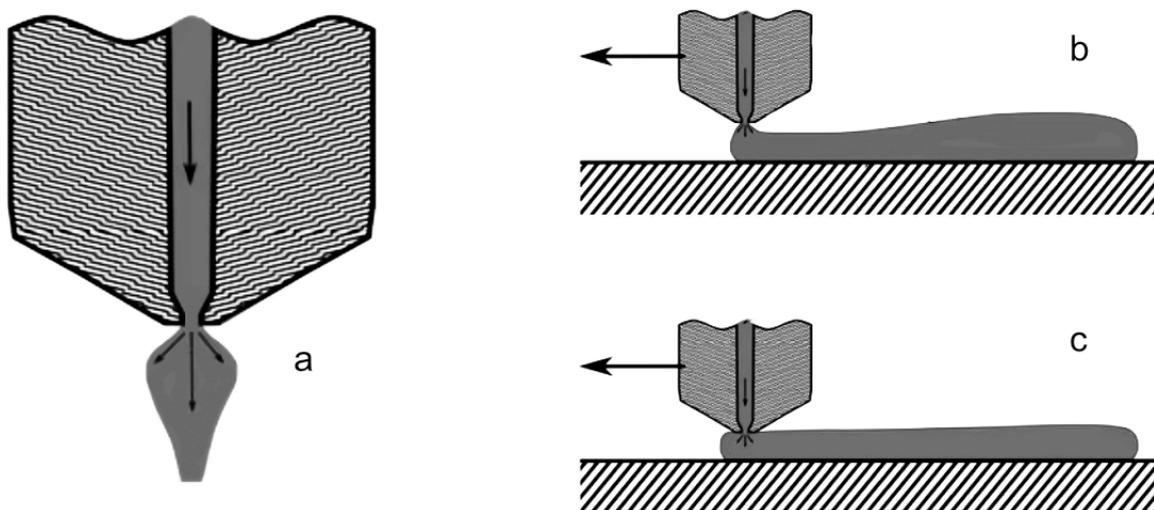
O material depositado esfria em contato com o ar e com a outra camada depositada anteriormente e volta a se solidificar aderindo ao material abaixo. Ao finalizar a camada, a plataforma é abaixada ou a extrusora é levantada (dependendo do modelo do equipamento) tanto quanto for a medida da divisão fatiada, e se inicia uma nova camada.

Para apoiar os pontos da camada que ficam suspensos ou desconectados da estrutura principal, são construídas estruturas de suporte pelo mesmo processo. Em alguns modelos de impressora, essa tarefa é desempenhada por outra extrusora, utilizando material posteriormente solúvel para sua extração. No entanto, os modelos mais baratos realizam a construção com o mesmo bico extrusor e mesmo material, requerendo a retirada da estrutura de suporte por extração mecânica, o que muitas vezes compromete o acabamento e a precisão da peça.

A ângulo interno do bico de impressão influencia as características do fluxo e da pressão de saída do filamento. Quanto maior o ângulo, maior a pressão interna para a saída do material. Acima dos 120° , a pressão aumenta bastante e as instabilidades geradas no fluxo podem levar ao entupimento do bico (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Uma vez liberado pelo bico, o material não mais contido sob pressão expande radialmente pela liberação da energia anteriormente empregada (Figura 3:20a). Este raio de expansão depende da geometria do bico e da elasticidade do material. Eles podem variar de 5% a 30% do diâmetro de saída. Um efeito similar ocorre se o bico se deslocar acima da altura da trilha (Figura 3:20b). Quando em altura suficiente para tocar o fluxo depositado, o calor do bico e a passagem física pelo material ajudam a prevenir a expansão (Figura 3:20c) (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Figura 3:20 Comportamento de saída do filamento derretido pelo bico de impressão.



Fonte: adaptado de TURNER; STRONG; GOLD, 2014.

O acabamento das peças é dependente dos materiais empregados. Ele pode ser químico, mecânico ou se utilizar de revestimentos. No primeiro, a peça é exposta a vapores de solventes que parcialmente derretem a superfície deixando-a polida. No método mecânico são utilizados equipamentos abrasivos, como lixas, porém é limitada pelo acesso às pequenas estruturas. Na área dos revestimentos, podem ser aplicados diversos materiais como *primers*, pintura eletrostática e até fibra de carbono, a qual, também aumenta a resistência da peça (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

3.4.1.2 Características

Ela é uma das tecnologias mais vantajosas em termos de custos de implementação e manutenção e conseqüentemente, de custo por protótipo. As peças construídas possuem até 85% da resistência das peças produzidas por injeção com o mesmo material. Assim, podem ser utilizadas para testes funcionais. Essa tecnologia também não requer pós-cura dos materiais. Como funciona com baixo ruído, tem baixo desperdício de material e não aceita peças grandes, é indicada para ambientes não-industriais (MELLO; SILVA; SEBASTIÃO, 2006).

O processo é desvantajoso porém em relação ao tempo médio de construção de uma peça, à relativa baixa precisão e à necessidade de pós-processamento para retirada dos suportes (VOLPATO, 2007). Também produz as superfícies mais ásperas, quando comparada a outras tecnologias, como a SLA e a Polyjet, devido à relativamente alta espessura das camadas (geralmente entre 0,1 mm e 0,3 mm) (ĆWIKŁA *et al.*, 2017).

A FFF requer cuidados para evitar fragilidade das peças, distorção das dimensões e encolhimento do material de construção. Elementos menores podem ter a precisão e o acabamento melhorados se forem produzidos individualmente (FLORIO; ARAÚJO; SEGALL, 2008). No entanto, os esforços para melhorar a resistência das peças deve focar no eixo Z, pois a aderência entre as camadas é o ponto mais fraco desta tecnologia (KUZNETSOV *et al.*, 2018) (como será apresentado no item 3.4.1.5 - Aderência entre as camadas, a partir da página 99). Desta maneira, planejar a posição das camadas em relação ao esforço que a peça sofrerá se torna o ponto chave na eficiência da peça fabricada.

3.4.1.3 Estruturas

Ao configurar uma impressão, os programas de fatiamento permitem que se escolha rapidamente dentre uma série de parâmetros que influenciarão as características finais do objeto impresso, se adequando às tarefas a serem desempenhadas por ele. Estes são parâmetros geralmente são agrupados pelas estruturas a serem fabricadas.

3.4.1.3.1 Perímetro

O perímetro, também conhecido como *shell ou wall*, é a região de interface lateral com os usuários. É constituído pelo contorno mais externo de cada camada desenhada pelo bico de impressão e pode abarcar várias linhas paralelas.

O aumento do número destas linhas é um dos principais responsáveis pela resistência do objeto à compressão e tensão, tanto por características formais estruturais quanto como consequência da velocidade normalmente reduzida de impressão (visando maior qualidade visual) e da consequente área de contato entre as camadas (melhor discutido no tópico 3.4.1.5 Aderência entre as camadas, na página 99) (ĆWIKŁA *et al.*, 2017; MAZURCHEVICI *et al.*, 2021).

3.4.1.3.2 Suporte

Como mostrado na Figura 3:18, na página 84, as estruturas de suporte são adicionadas para amparar as camadas externas suspensas até que elas resfriem. Elas podem assumir diferentes formas e densidades a serem escolhidas pelo operador para melhor se adaptar às formas da seção suspensa do objeto. Sua disposição geralmente é realizada automaticamente pelo software fatiador, embora muitos programas possuam adicionalmente a possibilidade de disposição manual, para pontos chave.

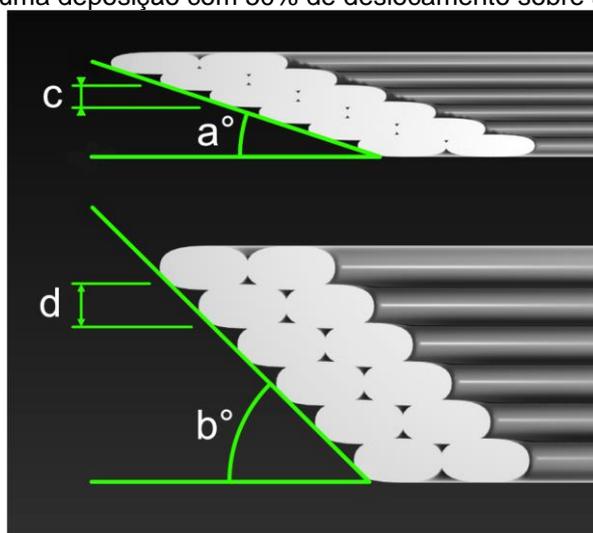
Essa distribuição automática toma o ângulo da superfície em relação à vertical ou à horizontal como referência. A inclinação das superfícies a serem suportadas podem variar entre 0° e 45° em relação ao plano horizontal. Acima deste valor, as

estruturas de suporte não são necessárias, pois a nova camada tem boa parte de sua base apoiada no filamento da camada anterior (LANGELAAR, 2016; QIAN, 2017).

O ângulo a ser utilizado nesta grande faixa de variação (0° a 45°) é dependente da velocidade de resfriamento do material, da capacidade da máquina de resfriar o local onde o material foi recentemente depositado (por fluxo de ar gerado por ventoinhas, na maioria das vezes) e da espessura de cada camada.

A Figura 3:21 ilustra este último aspecto. Nela, camadas de 0,1 mm e de 0,2 mm, depositadas por um bico de 0,4 mm, apoiam metade da largura do filamento

Figura 3:21 Variação da angulação máxima auto suportável de acordo com a espessura da camada para uma deposição com 50% de deslocamento sobre a camada anterior.



Fonte: o autor

depositado sobre a borda da camada anterior, enquanto a outra metade fica suspensa. É possível notar a diferença de ângulo teoricamente possível.

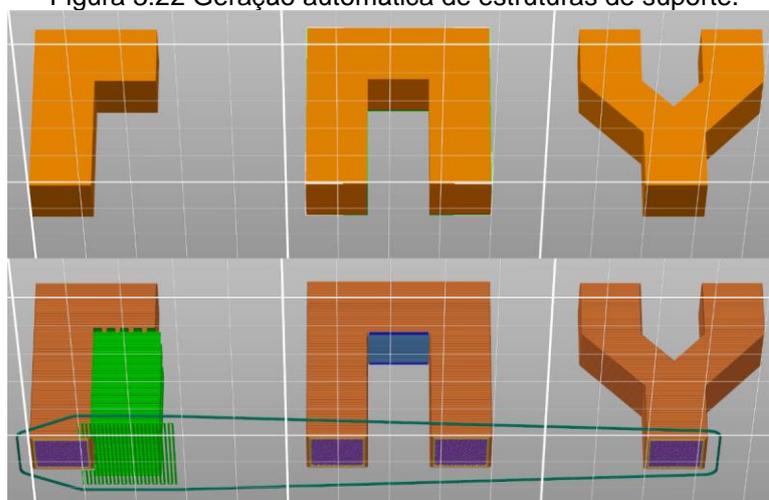
Uma outra situação em que o suporte não é necessário são as chamadas *bridges*, curtos espaços de ligação entre dois trechos da estrutura nos quais o material consegue se apoiar sem a necessidade de um suporte adicional.

Para realizar sua função, pode-se desenvolver a estrutura de suporte até que ela toque a peça, apoiando-a neste ponto (opção normalmente usada quando o material aplicado para o suporte pode ser posteriormente diluído em algum solvente) ou programar a interrupção das camadas de suporte há uma ou duas camadas abaixo da primeira camada da região a ser suportada, o que facilita a posterior retirada por

meios mecânicos, pois o suporte então não estará completamente unido à peça principal.

A Figura 3:22 mostra estas diferentes situações. Na primeira, à esquerda, a estrutura de suporte foi gerada para apoiar uma superfície com 0° em relação ao plano horizontal. Nas imagens centrais, em *bridge*, isto não foi necessário, assim como na situação representada à direita, na qual o ângulo da superfície atingiu os 45° . A cor azul na superfície em *bridge* (imagem do centro, de baixo) indica que o software

Figura 3:22 Geração automática de estruturas de suporte.

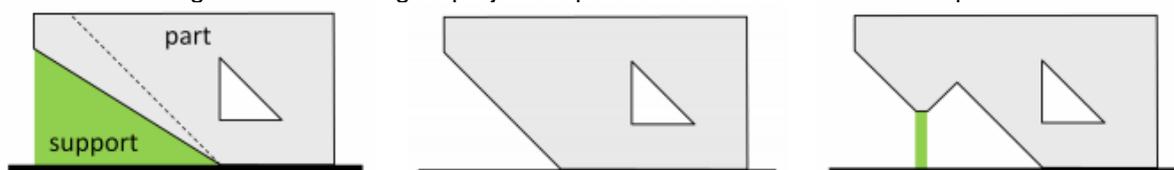


Fonte: o autor

fatiador reconheceu a situação e programou uma ação diferenciada de velocidade de deslocamento e de resfriamento para aquela região.

Independentemente da forma, Suportes representam custo adicional de recursos (material, energia e tempo). Além disto, quando aplicados utilizando o mesmo material do objeto desejado, podem ocasionar avarias e/ou prejudicar o acabamento nas regiões de contato pelo seu processo mecânico de extração. Assim, estratégias projetuais para evitá-lo são sempre bem-vindas. Entre elas, evitar ângulos

Figura 3:23 Estratégias projetuais para evitar a necessidade de suporte.



Fonte: LANGELAAR, 2016

menores do que 45° (Figura 3:23) e curvas próximas às bases das superfícies externas.

3.4.1.3.3 Preenchimento interno

Quase seguindo os mesmos padrões formais do suporte, o preenchimento interno, conhecido também como *infill*, tem função semelhante: também ampara camadas suspensas, porém as do topo e da base do objeto impresso pela parte interna. Pela sua disposição, tem influência nas características estruturais da peça e, por ficar escondido no seu interior (exceto em filamentos de material semitransparente), muitas vezes é configurado para ser impresso em velocidades maiores para reduzir o tempo de impressão. Isto acontece geralmente quando se tem um objeto cujo uso não estará submetido a maiores esforços de compressão ou tensão.

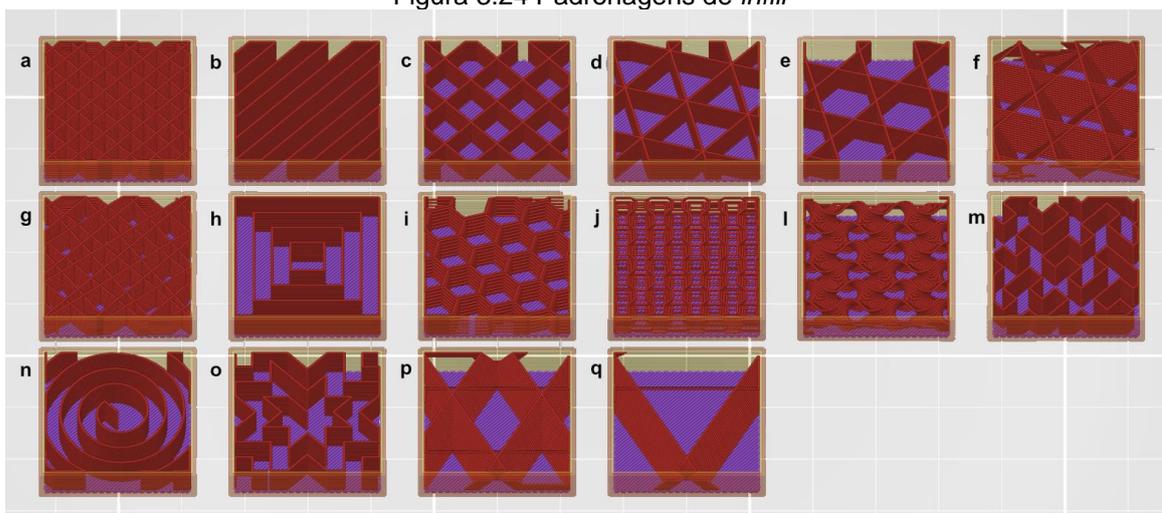
A Figura 3:24 mostra alguns dos padrões formais para o *infill* em 15% de preenchimento. A maioria apresenta uma distribuição bidimensional que é repetida a cada camada. São os casos do *Aligned Rectilinear* (b), do *Grid* (c), do *Triangles* (d), do *Stars* (e), do *Concentric* (h), e do *Honeycomb* (i), do *Hilbert Curve* (m), do *Archimedean Chords* (n), e do *Octagram Spiral* (o).

As exceções são o *Rectilinear* (a) e o *Linear* (g), que, apesar de serem bidimensionais, alternam a direção das suas linhas a cada camada; o *Cubic* (f), o 3d *Honeycomb* (j), e o *Gyroid* (l), as quais possuem uma forma totalmente tridimensional que se repete apenas depois de várias camadas e atuam muito bem em termos estruturais sob forças de direções diversas.

O *Hilbert Curve* (m), o *Archimedean Chords* (n), e o *Octagram Spiral* (o) facilitam a distribuição de líquidos pelo interior da peça, graças às suas câmaras interligadas.

Há ainda padrões que se adaptam às formas das peças. O *Adaptative Cubic* (p) é um padrão tridimensional que gera cubos inclinados grandes na parte mais interna da peça e reduz a dimensão destes elementos na medida que o preenchimento se aproxima do perímetro externo. Assim, garante um menor consumo de material com maior velocidade de impressão. O *Support Cubic* (q) age da mesma maneira, porém se restringe à aproximação das camadas superiores, garantindo que elas estejam bem apoiadas sem a necessidade de densas colunas de material se dirigindo à base.

Figura 3:24 Padronagens de *infill*



Fonte: o autor

3.4.1.3.4 Superfícies superior e inferior

As superfícies superior e inferior são camadas sólidas e seguem padrões de distribuição que visam o preenchimento destas regiões. Geralmente são configuradas pelo número e forma. A forma de distribuição do filamento varia apenas nas camadas mais externas: a inferior e a superior. As demais camadas são linhas em zigue-zague que se revezam girando 90° a cada camada.

Estas camadas existem em multiplicidade e sobreposição para permitir uma espessura mínima para o topo e para a base da peça, garantindo a resistência; e para garantir a acomodação das camadas sobre o *infill*, de modo que falhas provocadas pelo relaxamento da disposição ainda pastosa do material por entre as reentrâncias da padronagem do *infill* não sejam visíveis. Desta maneira, a camada inicial da parte superior é chamada em alguns *softwares* fatiadores de *bridge infill* (preenchimento interno em ponte, em uma tradução livre), por criar as primeiras ligações aéreas entre os pontos do *infill*, servindo de suporte para as camadas sólidas seguintes.

As padronagens da primeira e da última camada são as mesmas do *infill*, mas não possuem a mesma diversidade de padrões pois sempre se mostram com preenchimento completo (100%) da área.

3.4.1.3.5 Volume de extrusão

É possível alterar a espessura de saída da extrusão para valores entre 0,254 mm e 1 mm através da substituição das matrizes (bicos). A de 1 mm é tipicamente usada para impressões rápidas de objetos de maiores dimensões que não requerem detalhamento, enquanto o bico de 0,254 mm cumpre a função oposta. O bico de 0,406 mm é o mais comumente encontrado.

No entanto, a variação da espessura de impressão também pode ser realizada através do software fatiador, o qual escreve variações na velocidade de impressão e na vazão do material para atingir este objetivo.

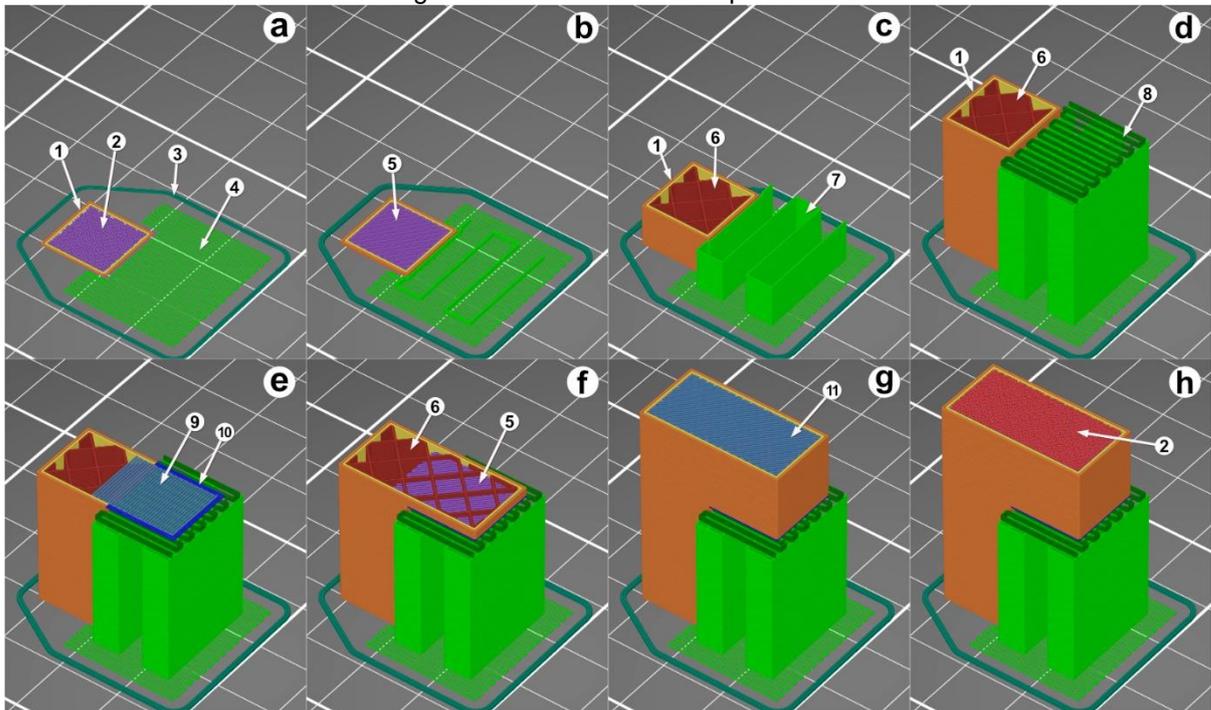
Seus resultados visuais tendem a não apresentar a mesma qualidade daqueles obtidos por um bico de diâmetro equivalente à espessura impressa quando a alteração passa de 20% do diâmetro do bico, para mais ou para menos, perdendo inclusive a precisão. Porém, permitem que se possa distribuir diferentes espessuras

pelas diferentes estruturas para que elas se adequem a dimensões que não são múltiplas do diâmetro do bico (ĆWIKŁA *et al.*, 2017).

3.4.1.3.6 Construção das estruturas

A Figura 3:25 mostra as estruturas na ordem de fabricação, tal como aparecem no software fatiador. Neste exemplo, é possível perceber o perímetro com duas faixas (1, uma amarela e a mais externa em laranja) e a região onde ele surge em bridge sobre a estrutura de suporte (10, em azul); a camada sólida de base e de topo (2, aparecendo respectivamente na imagem a, em roxo, e h, em vermelho), cujo padrão formal foi propositadamente alterado para apresentar a diferença para as demais camadas lineares desta região (5, em roxo, e 11, em azul), exceto quando em posição de *bridge* (9, azul) e *bridge infill* (11, azul); a saia (3, verde escuro), uma linha de poucas camadas que envolve o objeto para criar uma proteção para a primeira camada contra correntes de ar frio e, assim melhorar a aderência pela queda mais suave da temperatura; uma base para a estrutura de suporte (4, verde claro) para ampliar sua área de contato com a mesa e, conseqüentemente, sua aderência; o *infill* (6, vermelho); a estrutura de suporte (7, verde claro) e um aumento de densidade do suporte na sua parte superior (8, verde escuro) que aumenta a qualidade do apoio sem afetar muito o tempo de impressão e consumo de material e energia, já que só ocorre nas últimas camadas desta estrutura.

Figura 3:25 Estruturas da impressão



Fonte: o autor

3.4.1.4 Materiais

Segundo Volpato (2007), neste processo podem ser utilizados vários materiais como a cera, o poliéster, a acrilonitrila butadieno estireno (ABS) - o principal material empregado na época do uso exclusivo da tecnologia pela Stratasys (KUZNETSOV *et al.*, 2018), o policarbonato (PC) e a polifenilsulfona (PPSF), o nylon, o PLA (ácido poliláctico) e o PET (politereftalato de etileno). Hoje estão disponíveis mais de 30 tipos de filamentos de polímero, incluindo as versões combinadas deles com partículas ou fibras de outros materiais, como a madeira e o cobre e a fibra de carbono, para gerar novas características.

Cada um possui diferentes características visuais e mecânicas. Muitos deles absorvem a umidade do ambiente com facilidade, como acontece com o nylon, e isso gera problemas de impressão. A água absorvida vaporiza durante o derretimento do material e, dependendo da quantidade, pode levar a alterações morfológicas, entupimentos do bico de impressão e/ou formação de bolhas ou pequenos bulbos na superfície impressa (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Temperaturas muito acima dos pontos de derretimento também levam à degradação, quebra das cadeias poliméricas, enfraquecimento das peças produzidas e ainda a retenção de resíduos dentro do percurso de derretimento (GIBSON *et al. apud* TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

3.4.1.4.1 PLA

O PLA é hoje o material mais utilizado e mais barato. A origem deste fato se encontra em suas vantagens:

- (1) por ser um polímero fabricado a partir de vegetais (milho, trigo, arroz, cana-de-açúcar etc.), é derivado de fontes renováveis biodegradáveis (no caso do PLA, em compostagem);
- (2) ele é biocompatível, não produz efeitos cancerígenos nem tóxicos; além disso, não interfere na saúde dos tecidos quando implantado em organismos vivos; sua degradação também não produz substâncias tóxicas;
- (3) não excreta odores indesejados quando aquecido (como acontece com o ABS);
- (4) libera dez vezes menos micropartículas potencialmente perigosas que o ABS;
- (5) tem uma melhor adaptação térmica do que outros polímeros, o que permite que seja aplicado por injeção em moldes, extrusão de películas, moldagem por sopro, termoformação e outros processos industriais;
- (6) possui um baixo nível de encolhimento quando resfria, o que acarreta um baixo índice de estresse residual na peça produzida;
- (7) requer menos energia para produzi-lo (25% a 55% menos energia do que polímeros derivados do petróleo) e para fundi-lo, conseqüentemente, gera maior produtividade no processo de impressão (FARAH; ANDERSON, 2016; KUZNETSOV *et al.*, 2018).

Como desvantagens do PLA:

- (1) ele tem desempenho na resistência às forças empregadas pior que o ABS em temperaturas acima de 70 °C, embora o contrário aconteça em temperatura ambiente, devido ao menor estresse residual, citado no item (6) do parágrafo anterior;

- (2) apesar de ter forças de tensão e módulo de elasticidade semelhantes aos do PET, devido a um baixo limite de rigidez, o PLA é quebradiço, o que dificulta seu uso em aplicações de requerem deformações em altos níveis de estresse, aceitando menos de 10% de alongamento no ponto de quebra;
- (3) tem degradação lenta, dificultando sua eliminação em determinadas aplicações biomédicas dentro de organismos vivos, assim como sua eliminação no ambiente externo;
- (4) por ser quimicamente inerte, é difícil atribuir modificações em larga escala (FARAH; ANDERSON, 2016; KUZNETSOV *et al.*, 2018).

Por sua popularidade, preço, facilidade de acesso e demais características, o PLA foi o material escolhido para a execução dos testes.

3.4.1.5 Aderência entre as camadas

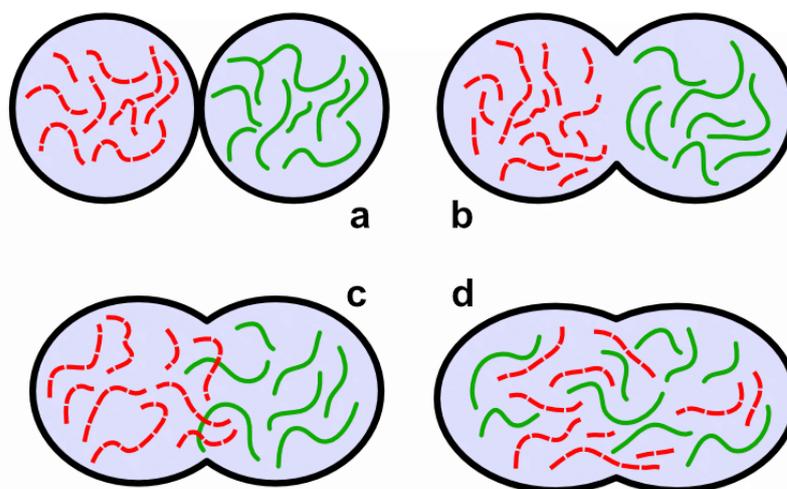
Todas as características mecânicas dos materiais utilizados na manufatura aditiva possuem valores tão distintos quanto são os processos de fabricação, mesmo que compartilhem as mesmas formas (MAZURCHEVICI *et al.*, 2021).

O sucesso da aderência de sucessivas camadas do material é crítico e o entendimento das relações de força envolvidas influencia enormemente as decisões e estratégias de desenvolvimento. As peças construídas por FFF não fogem a este conjunto, uma vez que a força de ligação entre as camadas e a área contato entre as linhas depositadas (à mesma altura e sobre outras), além do vazio entre estas linhas, a espessura das camadas depositadas, a forma e porcentagem de preenchimento interno, a temperatura de impressão, a orientação da peça durante a impressão e o material usado determinam as propriedades mecânicas do objeto impresso (KUZNETSOV *et al.*, 2018; MAZURCHEVICI *et al.*, 2021; PAN *et al.*, 2016; SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017; TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

3.4.1.5.1 Temperatura

O aumento da temperatura do sistema causa a elevação do movimento das cadeias de macromoléculas poliméricas do material e, como consequência, melhora a penetração deste material sobre outro material (Figura 3:26). Aumentando esta

Figura 3:26 sinterização polimérica.



Fonte: adaptado de TURNER; STRONG; GOLD, 2014

temperatura para o ponto de derretimento, há uma melhoria e aumento de estabilidade da junção entre os dois materiais por conta do bom contato e por conta das forças de Van der Waals⁹ (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017).

Esta estabilidade de junção acontece tanto entre as camadas impressas quanto entre a primeira camada e a mesa de impressão. Quando o polímero é aquecido a uma temperatura maior que a do seu ponto de transição vítrea¹⁰, há uma elevação na aderência do filamento sobre a superfície de aplicação pelo aumento do movimento das moléculas na região borrachuda. Isto é causado pelo calor e consequente penetração do material depositado sobre o outro. Temperaturas abaixo da transição vítrea, pouco contribuem para a aderência (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017; TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Quando o filamento é liberado pelo bico, passa a estar sujeito ao movimento do ar mais frio da temperatura ambiente, mas o processo de resfriamento por convecção é retardado pela condução do calor pela ligação do filamento à sua porção derretida no bico e/ou também ser causado pelo calor irradiado pelo bico de

⁹ Forças atrativas atuantes entre dois átomos ou moléculas neutros separados por dimensões maiores do que as suas próprias (DZYALOSHINSKII; LIFSHITZ; PITAEVSKII, 1961).

¹⁰ Fase do estado sólido onde não há formação de cristais, normalmente antecede a transição para o líquido e possui características termodinâmicas próprias. Nela, o material se torna borrachudo (GIBBS; DIMARZIO, 1958).

impressão. Se a velocidade de deslocamento do bico for suficientemente alta, desestabilizará esta relação e o fluxo se tornará descontínuo (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Por outro lado, a estabilização pela perda gradual de calor gera a largura da trilha de material liberado a qual determina a resolução que pode ser obtida no processo em relação às dimensões no plano horizontal (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

O calor é dissipado por condução para o material abaixo (filamento previamente depositado ou a mesa de impressão) e por convecção com o ar do ambiente (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017; TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Na trilha de material previamente depositado, a temperatura aumenta quase instantaneamente quando recebe nova linha de deposição sobre ela, e então este calor decai rapidamente para uma temperatura um pouco acima da do ambiente. Este aumento de temperatura pode afetar diversas camadas abaixo da que recebeu o novo filamento derretido. Reduzir o tempo entre as deposições de material de sucessivas camadas sobre um determinado ponto aumentará a força de ligação, visto que a temperatura naquele ponto permanecerá alta por mais tempo. (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Todo este histórico de incremento e redução da temperatura, assim como o tempo para uma nova camada de material ser depositada sobre a anterior, juntamente com a área de contato entre as trilhas de material depositado ou com a mesa de impressão são variáveis determinantes da aderência. Mas um pré-requisito para ela ocorrer é estar acima da temperatura de transição vítrea (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

3.4.1.5.2 Velocidade

Como a penetração das macromoléculas no material base é lenta, além do calor, a velocidade de impressão influencia na aderência. A maior aderência alcançada em experimentos de impressão de PLA sobre um copolímero de poliamida é com o filamento aquecido a 230 °C, com a mesa a 70 °C e impressão realizada em 50 mm/min, o que equivale a 0,833 mm/s, uma velocidade bem mais baixa daquela

comumente indicadas pelos fatiadores para trabalhos mais lentos (15 a 20 mm/s) (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017).

Velocidades ainda mais baixas, como 18 mm/min, fazem o material ficar exposto a temperaturas altas por tempo excessivo. Isso leva à formação de mais cadeias polarizadas de moléculas e, conseqüentemente, a um comportamento de menor flexibilidade. Em outras palavras, a peça tende a ficar quebradiça (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017).

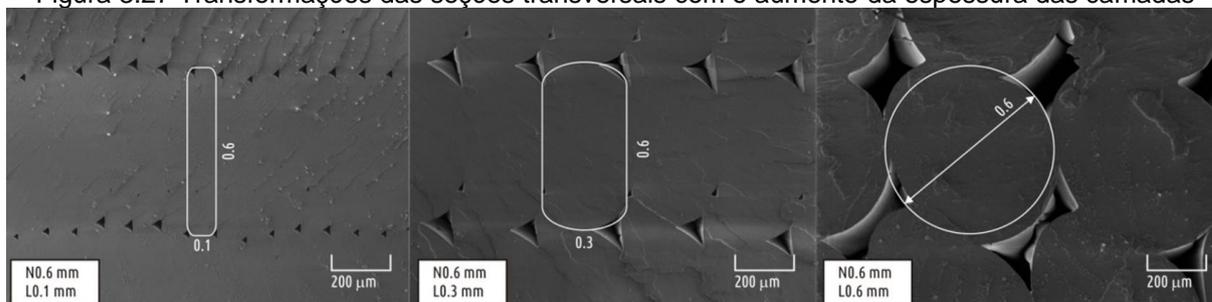
3.4.1.5.3 Espessura da camada

Outro fator determinante é a espessura da camada: o seu aumento reduz a resistência e a elasticidade da peça (MEI *et al.*, 2019). Tomando como unidade a razão entre o diâmetro do bico e a altura da camada, valores entre 1 e 2 (ou seja, camadas entre 100% e 50% do diâmetro do bico de impressão) devem ser utilizadas apenas para impressões de baixa qualidade. 2 a 4 (50% a 25% do diâmetro do bico) formam a faixa ideal para a impressão de partes funcionais. Uma relação acima de 4 é aconselhada apenas para peças muito importantes cujo tempo de impressão não é relevante. A utilização de espessuras acima de 80% do diâmetro do bico (ou seja, abaixo da razão 1,25), pode comprometer a impressão. (KUZNETSOV *et al.*, 2018).

Assim, tomando como exemplo um bico de 0,4 mm, a faixa ideal da altura de cada camada para alta resistência e baixo tempo de impressão estaria entre 0,1 mm e 0,2 mm. Abaixo de 0,1 mm, o tempo é alto e acima de 0,2 mm, a resistência cai. Acima de 0,3 mm, há o risco de comprometimento.

Na Figura 3:27 é possível notar a razão da redução da aderência entre as

Figura 3:27 Transformações das seções transversais com o aumento da espessura das camadas



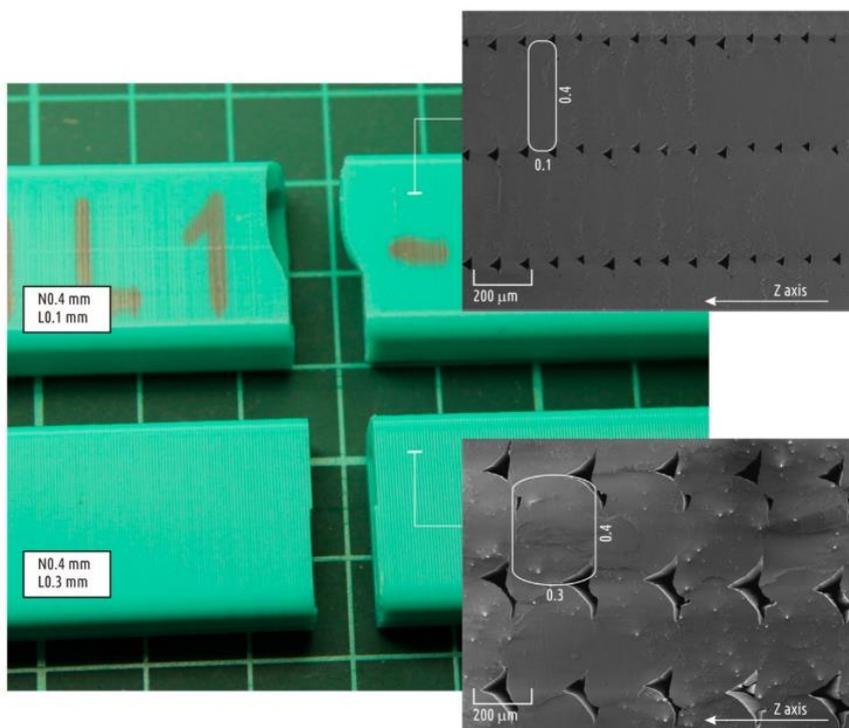
Fonte: KUZNETSOV *et al.*, 2018

camadas com o aumento da espessura entre elas: utilizando bico de 0,6 mm,

conforme a espessura de cada camada aumenta, da esquerda para a direita, de 0,1 mm para 0,6 mm, passando por 0,3 mm, aumentam as lacunas entre o material depositado. Isso reduz a quantidade de material por seção transversal (no plano paralelo às camadas) e a área de contato entre as deposições.

A relação 1,6 entre o diâmetro do bico em relação à altura da camada marca um divisor de comportamento. Abaixo desta relação, ou seja, alturas de camada acima de 62,5% do diâmetro do bico de impressão, as rupturas dos corpos de teste tendem a acontecer entre as camadas impressas. Até 1,6, 0,25 mm para um bico de 0,4 mm,

Figura 3:28 Ruptura abaixo (amostra de cima) e acima (amostra de baixo) do limite da relação 1,6.



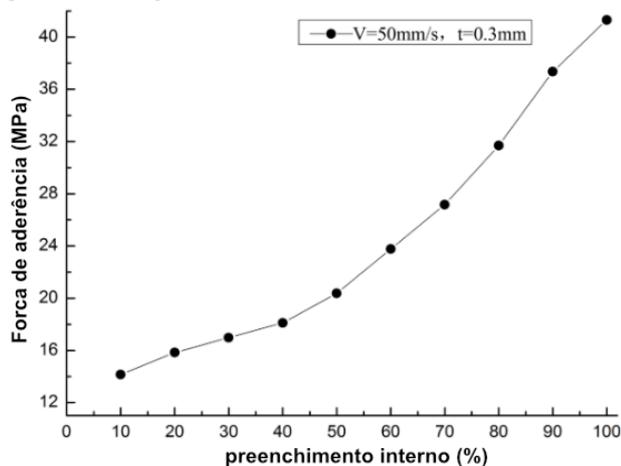
Fonte: KUZNETSOV *et al.*, 2018

por exemplo, as rupturas atravessaram múltiplas camadas, como pode ser notado na Figura 3:28.

3.4.1.5.4 Preenchimento interno

Quanto ao preenchimento interno, em até 40% de preenchimento, o ganho na adesão entre as camadas cresce lentamente (Figura 3:29). A partir deste ponto, eles crescem rapidamente até os 100% (PAN *et al.*, 2016).

Figura 3:29 Variações das forças de aderência entre camadas sob estresse de tensão



Fonte: adaptação de PAN *et al.*, 2016

Todavia, considerando que este componente tem grande influência sobre o tempo de impressão, o consumo de material, e a aderência, a melhor relação benefício sobre custo entre estes aspectos e a resistência a tração se encontra entre 40% e 50%, podendo-se optar por até 60% para regiões complexas ou pequenas (ĆWIKŁA *et al.*, 2017). Quando a peça não será submetida a altas forças de tração, 20% são o valor recomendado (PAN *et al.*, 2016).

3.4.1.5.5 Compatibilidade entre materiais

Nem todos os materiais possuem uma boa relação de interação de adesão. Ao se imprimir PLA sobre PLA, tem-se uma grande força de aderência, por exemplo. Porém, outros materiais não possuem tão boa compatibilidade físico-química, como é o caso do PLA sobre a poliamida, que resultará em uma união mais frágil, ou sobre poliésteres, como o PET, que não aceitarão a fixação (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017).

3.4.1.5.6 Disruptores

Outros fatores dificilmente são controláveis, quando o são, e afetam a precisão e resistência da impressão. São vibrações do equipamento, temperatura e umidade do ar e do filamento, impurezas do material, perdas de material,

descontinuidades na deposição das camadas, variações no diâmetro do filamento, entre outros (MAZURCHEVICI *et al.*, 2021).

3.5 Conclusões

Os estudos apresentados mostram que identificar imagens táteis é uma atividade que requer alta carga de memória para unir as regiões detectadas no todo da imagem e seu contexto e então buscar e atribuir nomes. Assim, quanto maior a complexidade das imagens, maior a dificuldade.

Neste aspecto, imagens em perspectiva confundem mais os usuários, uma vez que efeitos óticos e sistemas de representação não se reproduzem tatilmente, como volumes curvos e redução das dimensões com a profundidade.

Pessoas que nasceram cegas costumam ter um melhor desempenho no uso do tato para explorar e reconhecer, enquanto as pessoas videntes, quando vendadas, se utilizam da sua memória imagética no reconhecimento de imagens táteis.

Por estes motivos, pessoas que se tornaram cegas posteriormente costumam ter melhor desempenho no reconhecimento por possuir um tato mais apurado do que os videntes e reter a memória visual dos objetos e das suas representações bidimensionais. Nas imagens em perspectiva, isto se mostra mais evidente e acentua o desempenho dos vendados e dos cegos tardios. Porém, isto não se repete no reconhecimento de texturas, mesmo o tato sendo capaz de detectar diferenças de densidades maiores do que a visão.

Quando a percepção tem o movimento guiado por um vidente, o resultado das identificações pode ser melhor, assim quando são utilizadas as duas mãos, mas a escolaridade e o conhecimento em Braille não parecem influenciar o desempenho, exceto quando as imagens são mais complexas.

Para uma boa compreensão de imagens táteis, é necessário o desenvolvimento de algumas habilidades: (1) escaneamento (detecção de itens), (2) discriminação tátil (reconhecer por variações de textura, forma etc.), (3) compreensão espacial (posicionamento e orientação), (4) memorização (reter as informações para compor o todo), e (5) compreensão de imagens táteis (identificação).

Na sua concepção, deve-se considerar (1) obstáculos cognitivos, (2) o nível de detalhamento da figura, e (3) acompanhar as imagens com interpretações. Estas interpretações devem dar uma visão geral da cena, localizar elementos e descrevê-los, além de fazer um resumo final explicando o todo.

Com frequência se encontra materiais táteis criados de forma quase artesanal utilizando materiais diversos como fontes de diferenciação por texturas e cordões como linha de contorno. Outros processos podem ser utilizados como a termoformagem, a serigrafia e a estampagem para gerar relevo. Neste tipo de fabrico, muitos elementos comumente utilizados para ajudar a compreensão de videntes são recriados em relevo, como longas setas, mas tendem a confundir uma pessoa com deficiência visual tateando a informação.

A manufatura aditiva pode ajudar no processo de fabricação. Dentre as diversas tecnologias existentes, a FFF se destaca pela sua queda gradual de preços com a entrada de novos fabricantes no mercado desde que a sua patente expirou.

Trata-se da adição em camadas de filamento polimérico derretido, o qual resfria gerando a nova forma. As peças são construídas em camadas por estruturas, como as linhas de perímetro, que constituem um dos principais atuantes na aderência entre camadas depositadas; e o suporte, que apoia as camadas em balanço ou suspensas até que a peça enrijeça, o que requer um posterior trabalho de remoção, além de haver uma queda na qualidade do acabamento nas superfícies apoiadas. Por este motivo, há estratégias de design para reduzi-lo e evitá-lo. Outras estruturas compreendem o preenchimento interno, ou *infill*, que apresenta formas geométricas visando manter a estrutura com reduzido consumo de material interno; e, sobre e sob ele, as camadas superficiais que fecham a peça nas suas partes superiores e inferiores.

Dentre as dezenas de materiais possíveis de serem utilizados com esta tecnologia, o PLA vem sendo o mais utilizado por seu baixo custo, biocompatibilidade, biodegradabilidade, menor liberação de partículas perigosas à saúde, baixo nível de encolhimento durante o esfriamento e menor quantidade de energia para trabalhá-lo, já que seu ponto de fusão é o mais baixo dentre os materiais mais usados, embora isto possa ser uma desvantagem, dependendo da aplicação.

Estruturalmente, a aderência entre as camadas é um dos aspectos críticos para sua resistência. Ela é positivamente influenciada principalmente por altas

temperaturas, baixas velocidades de impressão (os quais permitem e influenciam a interação do material por entre as camadas), por baixas espessuras de camada e por alta densidade do preenchimento interno (estão diretamente ligados à área de contato com as camadas vizinhas) e pela compatibilidade química entre diferentes materiais.

Com estes conceitos e conhecimentos levantados, foi possível seguir para a próxima etapa, de modo que pudessem se apoiar nesta sequência de dados anteriormente definida por outros pesquisadores, como se fossem requisitos projetuais, para buscar as respostas para as hipóteses através do design dos experimentos, como serão descritos no próximo capítulo.

4 Experimentos (metodologias e resultados)

Para esta pesquisa, propõe-se uma metodologia de projeto e de processos seguindo uma abordagem indutiva. Esse método pressupõe que, por meio da indução experimental, o pesquisador pode alcançar uma lei geral através da observação de determinados casos particulares que envolvem o objeto (fenômeno/fato) observado (MARCONI; LAKATOS, 2011). Desta maneira, os problemas foram resolvidos em sequência, explorando suas vertentes e variações até encontrar as respostas.

Nessa visão, a pesquisa agiu mais sob a dimensão material. Portanto, do lado do produto, percorreu funções indicativas de análise do uso de técnicas e configurações de impressão tridimensional e estabeleceu modelos de reprodução dos resultados. Do lado do usuário, a função prática atuou sobre a análise dos resultados de interação entre usuários com deficiência visual e os objetos produzidos.

Dentro do âmbito de fundamentação exploratória, e em relação aos procedimentos a serem empregados, esta pesquisa é do tipo experimental, uma vez que seus dados são identificados a partir de um contexto controlado por meio da verificação das variáveis. A condução do estudo se deu através de experimentos com os materiais de produção e com indivíduos com deficiência visual, em busca da sua percepção dos elementos produzidos.

Do ponto de vista da fabricação, na primeira fase os experimentos se voltam a encontrar um material de baixo custo para receber a informação. Ao contrário dos estudos apresentados por Hasper, E. *et al.* (2015), que utilizaram corian (um polímero acrílico), MDF (*medium density fiberboard* – prancha de média densidade de partículas de madeira) e HDP (*high-density plastic* – plástico de alta densidade) sob a usinagem de uma CNC (máquina de fabricação subtrativa com controle numérico computadorizado), aqui era desejável que a variedade fosse maior, abrangendo materiais economicamente e facilmente acessíveis, além de mais adequados em termos de flexibilidade e aderência, para servirem de substrato base para o repouso dos artefatos táteis, visando a durabilidade sob manipulação constante e arquivamento para uso posterior.

Com os materiais, seria possível também descobrir como as características de impressão se comportariam na aderência. Largura e altura das linhas, seus ângulos e a influência das superfícies preenchidas foram averiguados.

Então, uma vez delimitadas as características de impressão e substrato, foi a vez de observá-las em aspectos mais voltados ao projeto: a segunda fase. Os novos experimentos observaram as habilidades descritas por Mazella, Albaret e Picard (2016) (vide página 56) através de curvas, texturas e versões das imagens classificadas por Snodgrass e Vanderwart (1980) (descritos a partir da página 46), variando densidade, orientação e posição para captar a percepção destas variações e formas.

Esta fase foi aplicada junto a pessoas com deficiência visual que se voluntariaram para experimentos apresentados. Os testes foram aplicados em instituições de educação e de apoio ao público com deficiência visual.

Como o desenvolvimento pressupunha a realização de experimentos onde a presença de indivíduos voluntários era imprescindível, toda a investigação descrita neste material foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFPE, sob o nome e seguiu a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, a qual estabelece diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Com a pandemia provocada pelo SARS-CoV-2, se alastrando pelo país em 2020 e em 2021, os testes foram adiados para momentos menos perigosos e então adaptados à nova realidade.

As metodologias específicas de cada experimento são encontradas nos tópicos seguintes, junto com seus respectivos resultados e análises. Assim, este capítulo está dividido em duas partes. São descritos os experimentos (metodologias e resultados) (a) voltados para o levantamento de dados relacionados a mídia de suporte e configurações de impressão e, (b) às descobertas ligadas a percepção das formas impressas.

As amostras foram construídas nos softwares Autodesk Fusion 360 e no Autodesk 3DS Max. O fatiamento e preparo de impressão foi realizado na versão 2.3.1 do software PrusaSlicer. As impressões foram realizadas em uma Prusa MK3S utilizando bico de 0,4 mm e a mesma bobina de filamento de PLA fabricado pela 3D Labs.

4.1 Mídia de suporte e configurações físicas de impressão.

Como apresentado no item anterior, essa primeira parte se destinou aos aspectos da interação do material impresso com a mídia de suporte. O objetivo era identificar o meio de baixo custo no local com melhor durabilidade em relação à manipulação visando baratear e agilizar as impressões. Para isto, foram testadas diferentes configurações de impressão sobre lâminas de diferentes substratos de materiais vendidos a preços acessíveis.

Os experimentos buscaram averiguar situações às quais as imagens impressas poderiam se sujeitar, como ocorre com uma folha de papel em um livro. Como a durabilidade da mídia é um fator desejado, para evitar ter que se fabricar novas peças a cada poucos usos, escolheu-se a aderência como parâmetro de medição. Os testes envolveram então os esforços sofridos e mensurados conforme descrito nos próximos tópicos.

4.1.1 Metodologia de localização

Os materiais foram escolhidos tendo por base sua acessibilidade, tanto física (localizáveis no comércio da cidade, no caso, do Recife) quanto financeira. Assim, buscou-se no mercado local materiais financeiramente acessíveis.

Para definir o valor que seria empregado, foi feito um apurado geral dos preços e se percebeu que, vendido por um metro linear (com variações de um a dois metros de largura), os valores em fevereiro de 2020 apresentavam uma elevação suave até os R\$ 7,00 (sete reais), e então saltavam rapidamente para mais de R\$ 10,00 (dez reais), ao mesmo tempo que reduzia o número de exemplares diferentes, e então um novo salto para a casa das duas dezenas de reais. Assim, optou-se por definir para os testes que os materiais que seriam utilizados deveriam ser encontrados até esse primeiro valor, os R\$ 7,00/m².

4.1.2 Metodologia dos testes

Sobre estes materiais, os objetos foram impressos utilizando a mesma bobina de PLA, o material biodegradável, mais barato e mais utilizado na tecnologia de impressão empregada, da marca 3DLab.

Há algumas normas padronizadas para procedimentos de testes de aderência, porém nenhuma foi localizada que fosse voltada para a impressão tridimensional de polímeros sobre materiais tão diversos quanto os que foram selecionados. Assim, optou-se por adaptar e mesclar os métodos das normas ASTM D4541-17 (2014) e ISO 11339-1, (2010). A primeira explicita procedimentos para avaliação das forças de aderência de aglutinantes entre objetos metálicos rígidos e apresenta métodos diversos de extração.

O método da ISO trata de aderência de películas sobre superfícies. Foi desenvolvido para aderentes metálicos, mas afirma que pode ser aplicado a outras superfícies flexíveis. Assim, ela orienta os experimentos de Sanatgar, Campagne e Nierstrasz (2017), nos quais foi adaptado para a manufatura aditiva de películas sobre tecidos. Nele, a película impressa é separada do material base por uma tensionadora que então registra a força empregada. Neste movimento, a camada impressa é curvada para cima quando puxada, enquanto o tecido curva para baixo no mesmo momento.

Pela proximidade destes estudos com o objetivo dos experimentos relatados nesta seção, parte da metodologia destes autores foi aplicada na configuração inicial do experimento. No entanto, os experimentos resultam nas forças necessárias para o desprendimento dos materiais, averiguando-as através de máquinas que não são tão acessíveis nem facilmente encontradas.

Considerando que os materiais escolhidos para este experimento, selecionados por preço e disponibilidade, não necessariamente seriam os mesmos daqueles localizados em outras cidades, eleger qual seria o melhor possivelmente não traria ganhos práticos no dia a dia de qualquer local do mundo, embora indicassem o comportamento de alguns exemplares e, assim, pudessem influenciar os resultados da percepção tátil.

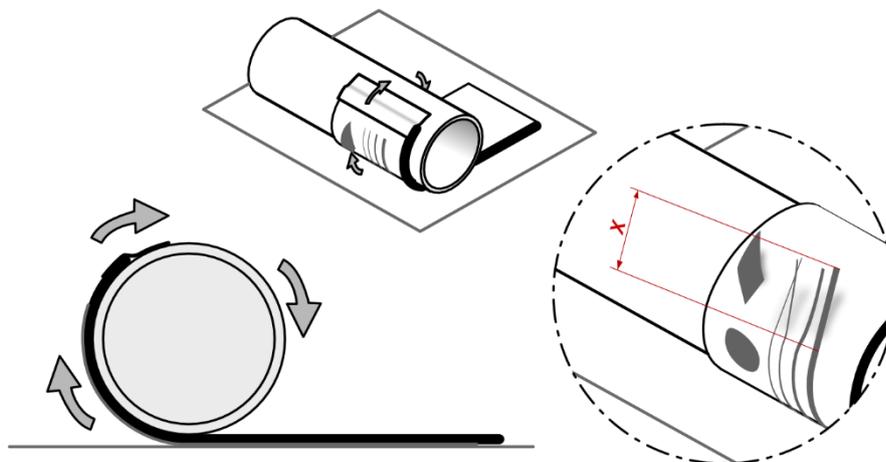
Assim, à adaptação dos procedimentos foi incorporada a preocupação da reprodutibilidade da metodologia de forma acessível. Para resolver esta questão,

criou-se uma maneira de medir qual material seria o mais aderente dispondo de instrumentos simples. A ideia básica foi curvar a amostra sobre um objeto cilíndrico, o que indicaria por exemplo, a resistência das páginas à ação de folheamento de um livro de ilustrações táteis. Seguem os passos gerais.

- (1) O material a ser testado foi recortado em retângulos de mesmo tamanho, por conjunto de teste (apresentados a partir da página 117) e rotulado para a sua discriminação.
- (2) Então o retângulo foi fixado ao canto inferior esquerdo (de uma vista superior) da mesa da impressora (coordenada $x = 0$, $y = 0$) com fita adesiva.
- (1) As formas desejadas foram impressas sobre os retângulos.
- (2) Com a amostra impressa resfriada, o retângulo foi retirado e fixado com fita adesiva, pelo seu lado menor, em um cilindro de raio 22,85 mm.
- (3) O conjunto foi repousado sobre uma superfície plana e rígida de modo que a figura impressa ficou voltada para baixo.
- (4) Então o cilindro foi rolado obrigando o material de apoio e, conseqüentemente, o material impresso a enrolar em volta do cilindro.
- (5) Ao completar a volta, a fita era solta e o material guiado para frente para permitir que o material continuasse rolando até o final, sem enrolar sobre si mesmo, já que o comprimento da circunferência do cilindro era menor do que o comprimento de algumas amostras.
- (6) Depois foi retirado do cilindro e analisado em busca de desprendimento do material impresso.
- (7) Havendo, foi medida a distância em linha reta da extremidade descolada da peça impressa ao ponto onde ainda se mantinha fixada (Figura 4:1).
- (8) O material foi retirado e fixado novamente ao cilindro, agora pela lateral oposta àquela utilizada no passo anterior (2), e o processo de rolamento e medição se repetiu utilizando, assim, o sentido contrário de giro para uma segunda medida.
- (9) As duas medições foram anotadas em uma planilha.

Sanatgar, Campagne e Nierstrasz (2017) afirmam que os parâmetros de fabricação que influenciam na aderência são a temperatura de extrusão, a temperatura da base da impressora, a velocidade de impressão, o material

Figura 4:1 Teste de aderência



Fonte: o autor

empregado na impressão, o material sobre o qual o objeto é impresso, as dimensões do objeto impresso e o tipo de preenchimento. Considerando que todos estes valores possam ser mantidos entre as impressões, exceto a mídia de suporte à impressão, a comparação entre os valores anotados dá à amostra de maior número a indicação de material mais aderente.

Além disto, tendo-se o diâmetro do cilindro no qual a amostra será enrolada (45,7 mm) e a espessura da mídia de suporte, é possível conhecer o ângulo máximo de torção suportado dentro daquele raio de curvatura aplicando uma proporção do comprimento da circunferência do conjunto (raio do cilindro mais a espessura do material testado) em relação à medida da ponta ao ponto de ruptura. Isto pode ser descrito pela fórmula

$$\frac{360}{A} = \frac{C}{M} \quad \rightarrow \quad A = \frac{360M}{(\varnothing + 2E)\pi}$$

onde,

C = comprimento da circunferência do conjunto material + cilindro

A = ângulo buscado,

M = medida da ponta ao local de ruptura,

\varnothing = diâmetro do cilindro,

E = espessura do material da base,

π = pi

Os materiais adquiridos foram cortados em áreas compatíveis com cada experimento (apresentados próximos tópicos, páginas 117, 118 e 119) e mantidos por 12 horas em caixa estanque com umidade relativa controlada em 40%, assim como o filamento utilizado, quando não estava em uso.

Como temperaturas abaixo daquela de transição vítrea do material a ser extrusado não afetam a aderência (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017; TURNER; STRONG; GOLD, 2014), a mesa da impressora foi aquecida a uma temperatura de 60 °C (utilização com PLA) para aumentar a estabilidade das moléculas da superfície de junção melhorando o contato e aumentando as forças de Van der Waals (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017).

As camadas foram impressas com o bico em temperaturas um pouco acima do que o normalmente é empregado em filamentos de PLA: 210 °C para a primeira camada e 205 °C para as demais. O objetivo era aumentar a dinâmica térmica das macromoléculas do polímero, o que aumenta a penetração e difusão do material sobre a superfície (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017). Pelo mesmo motivo, a ventoinha de resfriamento do material impresso permaneceu desligada durante a confecção da primeira camada e aumentou gradativamente sua velocidade de rotação até a quarta camada, garantindo assim, um resfriamento mais lento para uma maior aderência (TURNER; STRONG; GOLD, 2014).

Em termos de aderência entre camadas, 50 mm/s, quando utilizada em camadas de 0,2 mm, também gera os melhores resultados, considerando a eficiência, força de adesão, precisão da impressão e aspereza da superfície (PAN *et al.*, 2016). Assim, a velocidade da impressão das estruturas foi ajustada para estes valores. Porém, a altura da camada impressa não seria compatível todas as alturas dos objetos testados. Por este motivo, optou-se por reduzir para 0,1 mm, um múltiplo comum às dimensões empregadas, para que a comparação entre elas fosse homogênea.

A primeira camada foi ajustada também para 0,1 mm de altura para aumentar a área de contato com o material testado (KUZNETSOV *et al.*, 2018) (vide Figura 3:27, na página 102), e a velocidade de impressão foi definida para 20 mm/s para esta

primeira camada. Este número parte do princípio de que altas velocidades reduzem a penetração dos polímeros viscosos em tecidos, enquanto velocidades muito baixas a altas temperaturas deixam a impressão quebradiça (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017).

Depois, a espessura média do material da superfície sobre o qual os experimentos seriam impressos foi mensurada com um paquímetro em três pontos diferentes e então adicionada à altura da primeira camada a ser impressa via software de fatiamento (opção *Z Offset*).

As configurações gerais de impressão estão resumidas na Tabela 4:1.

Para garantir que a impressão seguisse sempre a mesma localização no retângulo do material, a criação das peças digitais incluiu a geração de uma moldura

Tabela 4:1 Configurações de impressão para as peças do teste de aderência

Parâmetro	Elemento
Altura da primeira camada:	0,1 mm
Altura das demais camadas:	0,1 mm
Linhas de perímetro:	2
Linhas na saia (<i>skirt</i>):	0
Temperatura da primeira camada:	210 °C
Temperatura das demais camadas:	205 °C
Temperatura da mesa:	60 °C
Velocidade da ventoinha de resfriamento do filamento impresso (mín. / máx.) (<i>Fan speed</i>):	0% / 50%
Número de camadas com ventoinha desligada (<i>Disable fan for the first</i>):	1
Camada na qual a ventoinha alcançará a velocidade máxima (<i>Full fan speed at layer</i>):	4
Altura inicial de impressão (<i>Z-Offset</i>):	Espessura do material (vide Tabela 4:2, página 123)
Velocidade de impressão do filamento de contorno (<i>perimeters</i>):	50 mm/s
Velocidade de impressão do preenchimento sólido (<i>solid infill</i>):	50 mm/s
Velocidade de impressão da camada de topo (<i>top solid infill</i>):	50 mm/s
Velocidade de impressão do preenchimento interfilamentos (<i>gap</i>):	50 mm/s

Fonte: o autor.

com a mesma dimensão do retângulo do material a ser cortado. Depois de alinhar o objeto com as bordas da mesa no software fatiador, o objeto moldura foi deletado, deixando os objetos a serem impressos na posição desejada.

Os objetos sofreram escalonamento da altura para atingirem a altura buscada para cada teste e então o arquivo de impressão foi gerado.

A impressora foi calibrada tanto em relação ao multiplicador de extrusão (para garantir a precisão da largura dos filetes de filamento depositados) como em relação à compensação de linearidade (para garantir que a deposição de material fosse homogênea do início ao fim) utilizando os procedimentos descritos pelo fabricante¹¹.

Todas as impressões foram precedidas de uma calibração automatizada da altura da mesa de impressão em nove pontos distribuídos pela superfície, e do expurgo de material do bico de impressão. O expurgo era feito através da impressão de uma linha, fora da área de impressão e antes do início da fabricação dos elementos do teste. Isso garantiu a presença e a homogeneidade do filamento no bico antes do início do processo, o que retira a necessidade de uso de saia (*skirt*) para esta finalidade, além de evitar que qualquer filamento vazante do bico durante o aquecimento inicial chegasse ao processo de impressão. Tal linha foi impressa utilizando o código comentado a seguir.

G28 W ; *move a extrusora para a coordenada mínima nos eixos X, Y e Z (home)*

G80 ; *afere a altura da mesa em diferentes pontos e armazena as informações*

G1 Y-3 F1000 ; *move a extrusora para fora da área de impressão*

G92 E0 ; *zera a contagem de rolamento do motor da extrusora*

G1 X60 E9.0 F1000 ; *executa metade da linha de expurgo*

G1 X100 E12.5 F1000 ; *continua a linha com maior saída de material*

G92 E0 ; *zera a contagem de rolamento do motor da extrusora*

As peças foram impressas diretamente sobre as superfícies em três conjuntos de teste: (a) aderência, (b) ângulos, e (c) superfícies e formas. As configurações específicas de cada um são mostradas nos próximos tópicos.

Primeiramente, foram impressos uma vez sobre papel sulfite de 75 g/m², como um pré-teste, no qual foram averiguadas todas as opções da altura (conforme será

¹¹ **Multiplicador de extrusão:** https://help.prusa3d.com/en/article/extrusion-multiplier-calibration_2257

Correção de linearidade: https://help.prusa3d.com/en/article/extruder-linearity-correction-calibration_2254

descrito no próximo tópico) para os três primeiros testes. Uma vez testados o funcionamento e a eficácia do processo, os experimentos foram iniciados.

4.1.2.1 Aderência

O conjunto de amostras do primeiro teste apresentava linhas paralelas com larguras em valores múltiplos do diâmetro do bico da impressora (0,4 mm). Com isto se buscava, além de descobrir qual material teria a melhor aderência, levantar a influência do número da largura e da altura impressa na forma como a amostra se desprenderia.

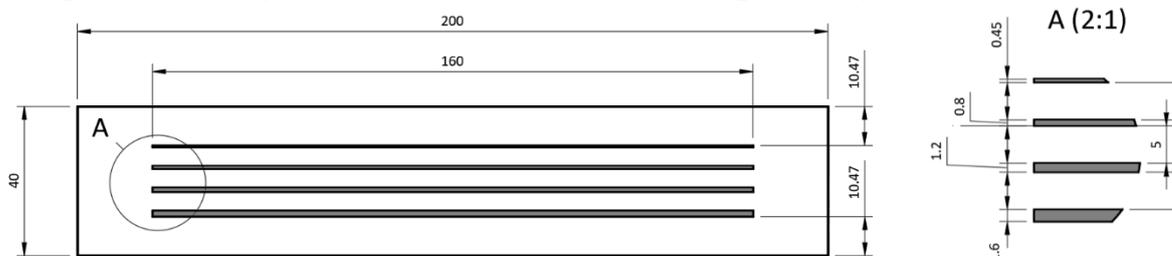
Cada linha estava afastada 5 mm da outra, 20 mm das margens na direção de suas extremidades, para a fixação, 10,475 mm das margens laterais, tanto para se afastarem delas quanto para arredondar o tamanho do retângulo do material a ser testado, resultando em 200 mm de largura por 40 mm de altura.

A primeira linha possuía um único perímetro. Por conta da pressão de saída do bico, foi redimensionada para 0,45 mm de largura. As demais seguiram como múltiplos do diâmetro do bico pelo apoio que as linhas depositadas exercem nas novas. Desta maneira, as demais possuíam 0,8 mm (dois perímetros), 1,2 mm (três perímetros) e 1,6 mm de largura (quatro perímetros).

Todas tinham 160 mm de comprimento, como pode ser visto na Figura 4:2. Nesta imagem, também é possível perceber a moldura (retângulo mais externo) utilizada no alinhamento da peça na mesa de impressão no software fatiador e descartada antes da criação do arquivo de impressão.

As amostras com as quatro linhas foram preparadas para cada material testado, variando a altura das retas: cada grupo de quatro linhas foi impresso com 0,1

Figura 4:2 Vista superior do desenho construtivo da montagem do experimento de aderência



Fonte: o autor

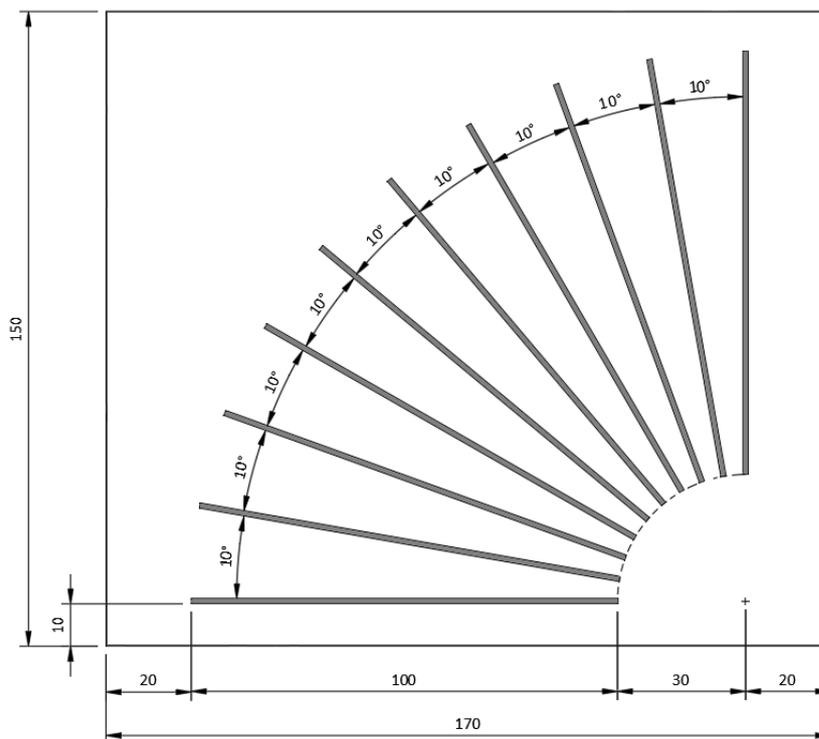
mm, 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 0,7 mm e 1 mm. Este conjunto completo de alturas, por sua vez, foi impresso e testado quatro vezes.

4.1.2.2 Ângulos

Para o teste 2, conjunto de amostras objetivava inferir a influência do ângulo em relação à torção, e difere do primeiro experimento por dispor de dez retas menores (100 mm ao invés de 160 mm) de uma única largura (1,2 mm) e única altura (0,7 mm), em diferentes ângulos, entre 0° e 90°, separadas por intervalos de 10°, conforme Figura 4:3, na qual também é possível notar as dimensões do retângulo da amostra do material testado, 170 mm por 150 mm, e as margens de 20 mm e de 10 mm. Cada conjunto de ângulos foi impresso em quatro tiragens por material testado.

A altura de impressão das retas foi definida e fixada em uma única após os pré-testes terem sido realizados com todas as alturas do teste anterior. Foi escolhido um valor intermediário entre aquele que permitia uma aderência completa e aquele

Figura 4:3 Vista superior do desenho construtivo da montagem do experimento com retas em diferentes ângulos



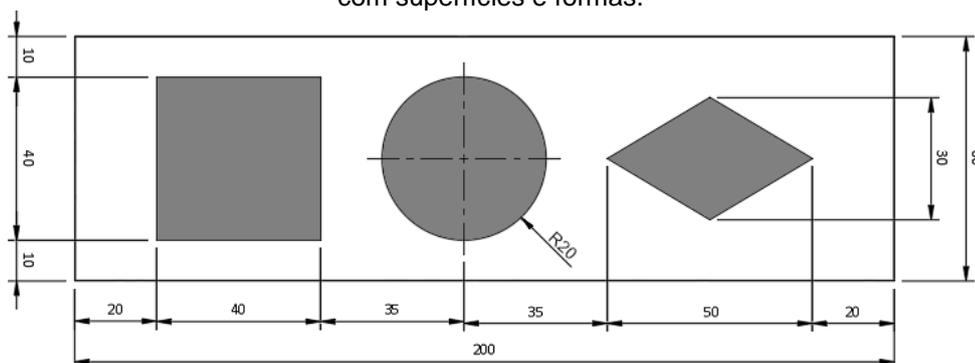
Fonte: o autor

que gerava um completo descolamento, pois ambas as situações não permitiriam averiguar diferenças entre os ângulos.

4.1.2.3 Superfícies e formas

Para avaliar a influência da padronagem de preenchimento das superfícies externas (primeira camada e camadas mais alta impressa), o teste 3 desta seção alocou três formas geométricas alinhadas, um losango (50 mm x 30 mm), um círculo (raio = 20 mm) e um quadrado (lado = 40 mm) em um retângulo de 60 mm por 200 mm, com 20 mm de margens no sentido do comprimento, e 10 mm na largura. As formas foram separadas em 15 mm (Figura 4:4).

Figura 4:4 Vista superior do desenho construtivo da montagem da amostra do experimento com superfícies e formas.



Fonte: o autor

Da mesma forma e pelos mesmos motivos que o teste anterior, a altura foi fixada em 0,5 mm, outra medida com valor intermediário de aderência após todas terem sido pré-testadas. Os padrões de superfície escolhidos (*top/bottom fill pattern*, no software) foram o *rectilinear* e o *concentric*, por se mostrarem uma interseção em vários programas de fatiamento.

O número de camadas sólidas a partir do topo e a partir da base foram definidos de modo a criar um objeto sólido, sem *infill*, e as linhas de contorno (*perimeters*) foram zeradas para não afetar o comportamento das superfícies.

Os testes foram executados três vezes, em cada material.

4.1.2.4 Análise dos dados

Após a retirada da impressora, resfriamento do conjunto e etapa de rolamento e medição do descolamento, os valores foram anotados em planilha eletrônica. Eles foram então submetidos à análise numérica e, posteriormente a testes estatísticos.

A primeira etapa desta análise estatística foi checar a normalidade da distribuição dos dados dentro de cada comparativo. Para este fim, foi utilizado o Shapiro-Wilk (1965).

Em seus valores absolutos, a variabilidade dos dados seria descrita pelo desvio padrão se a população analisada seguisse uma distribuição normal e o tamanho da amostra não fosse pequeno ($N > 50$). Em caso contrário, a descrição se daria pela distância entre os quartis de 25%, 50% (mediana) e 75%, técnica mais indicada para amostras não-paramétricas ou de pequeno tamanho, casos onde a média, utilizada nos cálculos, é fortemente e facilmente influenciada pela dispersão que pode ocorrer nos dados (LUNET; SEVERO; BARROS, 2006).

Como as configurações dos testes possuíam variáveis independentes, foram utilizados os testes de Mann-Whitney (1947) para comparar duas variáveis da mesma configuração (caso da comparação das superfícies de preenchimento) e o teste de Kruskal-Wallis (1952) para comparar quando o mesmo parâmetro possuía mais de duas variáveis (os demais aspectos analisados). Neste último caso, a análise comparativa caso a caso, teste de paridade, foi feita com o *post hoc* de Dunn (1961).

Deste modo, foi possível verificar se os números colhidos apresentavam diferenças significantes ou se eram estatisticamente iguais (TRIOLA, 2005). Estes cálculos estatísticos foram realizados pelo software Jasp (JASP TEAM, 2021) e a probabilidade de significância adotada foi de $p \geq 0,05$.

4.1.3 Resultados e análise

Com 2040 medições catalogadas em planilha, os resultados deste experimento são mostrados abaixo em quatro partes. Primeiramente, os materiais que foram localizados dentro dos requisitos apresentados, seguido da descrição de como eles se comportaram durante o processo experimental. Na segunda parte, os resultados dos testes de aderência por altura e largura das linhas impressas e dos

materiais. O tópico seguinte aborda a aderência através dos ângulos de torção e o último, os resultados dos testes das formas e das superfícies.

4.1.3.1 *Materiais e impressão*

Na busca por mídias com custo acessível (abaixo dos R\$ 7,00/m²), visitas foram realizadas a diversas casas de materiais em diversas regiões da Cidade do Recife em fevereiro de 2020. A maioria delas lidava com tecidos e polímeros.

Havia uma variação tanto nos preços quanto na oferta desses materiais por região. Por exemplo, na região sul, o principal propósito dos materiais eram a forração e a decoração e eles se apresentavam com valores mais altos, chegando a R\$ 120,00 por metro (veludo).

Optou-se por adquirir a maior parte de lojas do centro mais antigo da cidade pois foi onde se concentraram baixos valores e alta diversidade. Nestes locais, os materiais são encontrados sob diversos nomes, o que dificulta identificá-los. Alguns são conhecidos por uma designação própria dada pelo fabricante, como Lamicel e Lisolene, permitindo a localização junto a eles. Outros, possuem nomes que variam entre diferentes lojas, como o papelão pinho, o papelão pinheiro e o papelão couro.

Mas há ainda conjuntos conhecidos por denominações genéricas, independentemente da natureza, como o acrílico, para qualquer polímero sintético transparente rígido; o acetato, para qualquer polímero transparente relativamente flexível; e até o “transparente zero dez” (PVC, o qual só foi identificado através dos seus usos, suas características e seus fabricantes). Por este motivo, uma parte dos materiais apenas pôde ser identificada mediante pesquisa posterior.

A lista de materiais encontrados inclui polímeros sintéticos e materiais a base de celulose e segue listada abaixo e ilustrada na Figura 4:5.

- **Papel sulfite:** conhecido também por apergaminhado, offset ou ofício, um dos tipos de papel mais comuns em escritórios. As amostras utilizadas possuíam densidades de 75 g/m² (Figura 4:5e) e, posteriormente, de 180 g/m² (Figura 4:5d).
- **Papelão pinho:** papelão esbranquiçado, pensado, maciço, fino e vendido por peso. Apresenta duas faces com texturas e colorações diferentes. Uma, mais clara, é também mais áspera do que a outra (Figura 4:5f e g).
- **Lisolene:** encontrado e conhecido por este nome no comércio, descobriu-se depois se tratar de um laminado de polietileno, um dos polímeros sintéticos mais

Figura 4:5 Materiais encontrados. (a₁) lisolene preto opaco, (a₂) lisolene transparente (lado texturizado), (a₃) lisolene transparente (lado liso), (b) EVA, (c) TNT, (d) papel sulfite de 180 g/m², (e) papel sulfite de 75 g/m², (f) papelão pinho (lado escuro), (g) papelão pinho (lado claro), (h) papel vergê de 120 g/m², (i) PVC.



Fonte: o autor

simples, de maior produção e menor preço. Possui duas faces com texturas diferentes: uma é completamente lisa (Figura 4:5a₃) e a outra apresenta uma padronagem em pequenos pontos que não atingem o lado liso (Figura 4:5a₂). Foi adquirido em duas cores, transparente e preto opaco (Figura 4:5a₁) visando analisar a hipótese de a coloração afetar a troca de energia térmica e, conseqüentemente, a aderência.

- **TNT:** tecido não-tecido ou *not woven* são fibras aglomeradas sem formação de uma malha (Figura 4:5c). Em descoberta posterior, tomou-se conhecimento de que as fibras são fixadas por uma resina de polipropileno, o segundo polímero sintético mais produzido. A densidade da amostra adquirida foi de 80 g/m².
- **EVA:** o etil vinil acetado é vendido como uma chapa de polímero sintético macio e flexível. Costuma ser especificada pela espessura da chapa. A que foi utilizada foi comprada como 2,5 mm de espessura (Figura 4:5b).

- **Blecaute/transparente/Lamicel:** por ser vendido com estes diferentes nomes, várias amostras foram compradas para apenas depois de descobrir que se trata do mesmo material, o polivinilclorido, abreviado como PVC. Neste caso, se apresenta como lâminas transparentes, lisas e maleáveis que, quando dobradas, formam e mantêm um vinco arredondado (Figura 4:5i).
- **Papel vergê:** semelhante ao papel sulfite, porém com a visibilidade de linhas horizontais internas, resultantes do processo de fabricação. A amostra utilizada possuía a densidade de 120 g/m² (Figura 4:5h).

Alguns dos outros materiais localizados não tiveram sua composição distinguida pelos vendedores ou excederam os valores empregados. Em geral, eram películas de algum polímero vendidas por nomes próprios, para os quais não foram encontradas referências de fabricação, ou papeis mais caros.

Após a identificação, os materiais adquiridos foram mensurados, como citado na metodologia, e os números encontrados para a espessura encontram-se na Tabela 4:2, juntamente com os preços pelos quais foram obtidos.

Tabela 4:2: Espessuras médias e valores dos materiais utilizados.

Material	Espessura (mm)	Valor / m ² (R\$)
papel sulfite 75 g/m ²	0,1	0,74
Lisolene (polietileno)	0,1	1,33
TNT 80 g/m ²	0,43	3
papelão pinho	0,75	2,86
EVA (etil vinil acetado)	2,6	7
Lamicel (PVC)	0,1	2,5
papel vergê 120 g/m ²	0,2	3,7
papel sulfite 180 g/m ²	0,2	0,42

Fonte: o autor.

4.1.3.2 Aderência

Neste primeiro teste, foram realizadas 1344 medições (seis materiais, quatro larguras, sete alturas, quatro amostras por cada configuração, medidas em duas extremidades). Como as medições das duas extremidades contam como um único resultado daquela amostra, tem-se 672 amostras.

A Figura 4:6 apresenta uma amostra passando pelo procedimento. À esquerda o processo de impressão, no caso, do teste 1. É possível observar o material fixado na extremidade do canto de baixo da esquerda da área útil da mesa de impressão, a linha de expurgo logo abaixo da amostra, fora da área de impressão, e as linhas impressas em uma única altura, nas quatro diferentes larguras. À direita da imagem, o processo do primeiro enrolamento da amostra sobre o cilindro mostrando o descolamento de parte das linhas, o que posteriormente seria mensurado.

Figura 4:6 Impressão e processo de enrolamento do teste de aderência.



Fonte: o autor

4.1.3.2.1 Materiais

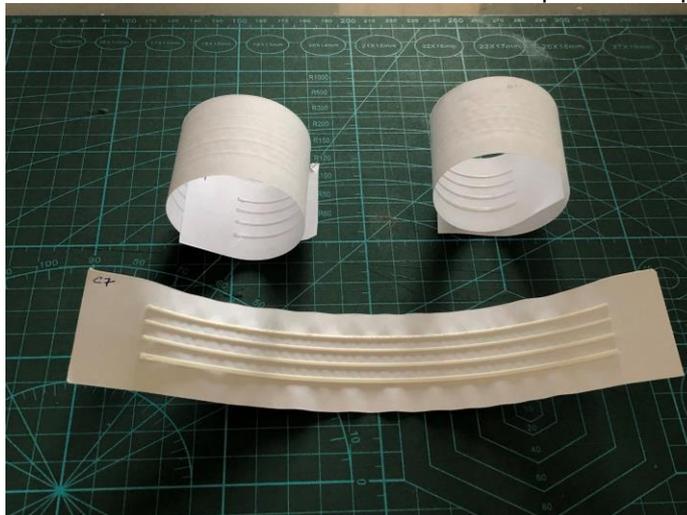
Os materiais se comportaram de maneira distinta e abaixo estão relatadas as reações durante os testes.

- *Papel sulfite 75 g/m²*

Durante o resfriamento das amostras, a diferença de características térmicas dos materiais somada à baixa espessura do material base gerou uma curvatura das amostras, voltando-os para cima, com eixo perpendicular às retas impressas, e torção na proporção inversa à altura das amostras impressas. Este efeito foi encontrado em outros materiais, mas em menores intensidades. A Figura 4:7 mostra esta ocorrência em amostras de 0,1 mm e 0,2 mm (na parte superior da figura) contra uma de 0,7 mm.

Durante os pré-testes, se tentou em algumas amostras impedir o curvamento de três maneiras: (a) deixando a amostra esfriar lentamente sobre a mesa da

Figura 4:7 Efeito de curvatura observada nas amostras impressas do primeiro teste.



Fonte: o autor

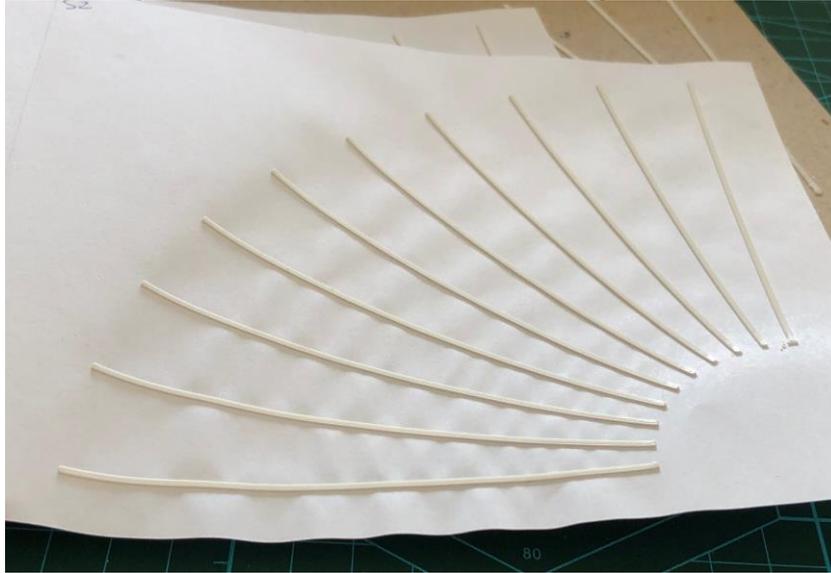
impressora; (b) retirar a amostra e imediatamente guardá-la dentro de um livro com pesos sobre ele; e (c) deixar a amostra esfriar sobre um apoio que a tocava apenas no centro, deixando suas bordas no ar, sob ação da gravidade. Nenhum dos métodos apresentou bons resultados, mas o segundo amenizou levemente o efeito sobre impressões de maior altura e o terceiro sobre as impressões mais baixas.

No segundo teste, por apresentar elementos em ângulos entre 0° e 90° , o eixo da curvatura se apresentou curvando o papel em um ângulo médio das retas: 45° na direção que as corta (Figura 4:8).

No terceiro teste, o das superfícies, a curvatura surgiu ainda durante a impressão e de forma mais intensa, principalmente próximo às formas impressas, tanto na largura quanto no comprimento de cada forma geométrica. Esta ocorrência forçou a resistência da fixação à mesa da impressora, o que levou à ampliação o uso de fita adesiva para manter o material em seu lugar.

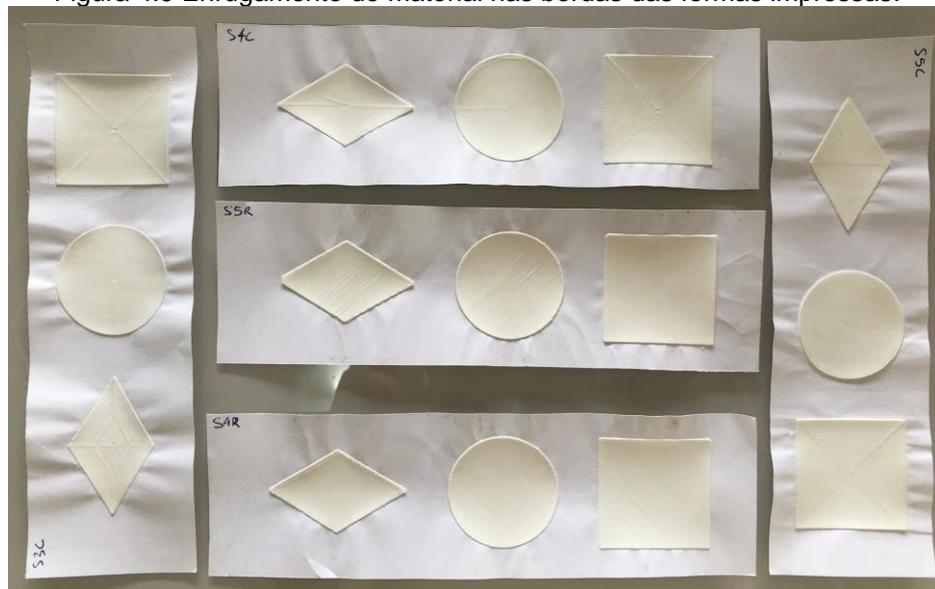
O curvamento veio acompanhado de um forte enrugamento nas laterais da deposição do filamento (Figura 4:9), o qual já era percebido nos testes anteriores, porém lá em menor intensidade (Figura 4:6, Figura 4:7 e Figura 4:8). Este efeito criou uma textura ao redor dos elementos impressos e ampliou o repuxo das laterais da amostra.

Figura 4:8 Efeito de curvatura sobre o segundo teste



Fonte: o autor

Figura 4:9 Enrugamento do material nas bordas das formas impressas.



Fonte: o autor

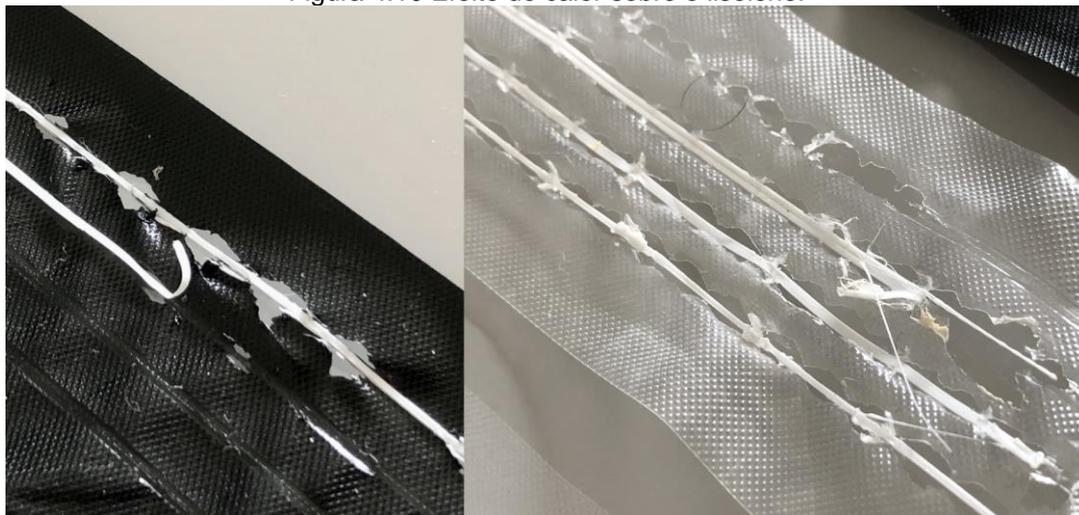
- *Lisolene (polietileno)*

O calor do bico derreteu e rasgou o Lisolene em vários locais enquanto corria pela superfície. As linhas impressas soltaram com muita facilidade no momento da retirada do material da impressora. Cinco tentativas foram realizadas em ambas as

texturas/faces do Lisolene em ambas as cores, sempre com o mesmo resultado (Figura 4:10).

O motivo para este resultado é consequente do ponto de fusão do polietileno, que varia entre 105 °C e 125 °C, conforme a sua densidade. Por isto, o experimento com este material se mostrou inviável.

Figura 4:10 Efeito do calor sobre o lisolene.



Fonte: o autor

- *TNT de 80 g/m²*

O TNT foi fácil de ser fixado à mesa de impressão e se comportou muito bem diante do calor, sem danos, nem rasgos ou curvaturas. No entanto, as linhas não se fixaram ao material em nenhuma das quatro tentativas. E por não encontrar aderência, o filamento seguia preso e acumulando no bico.

Foi durante a impressão que se descobriu que as fibras do TNT são normalmente fixadas com resina de polipropileno, um polímero sintético com elevada resistência química e, portanto, que não se combina com a maioria dos materiais.

Por isto, este material também foi descartado.

- *Papelão pinho*

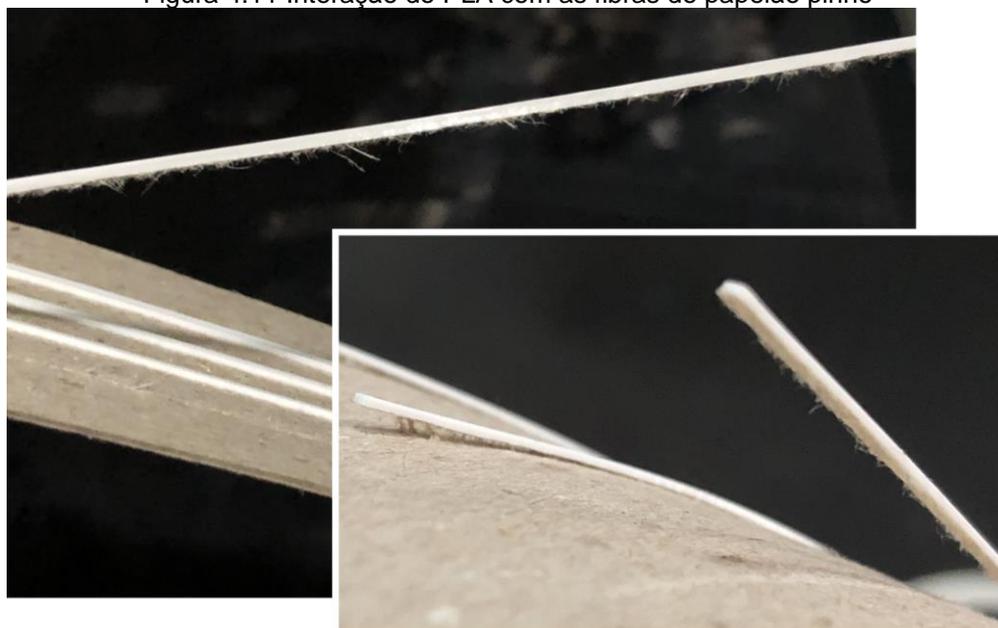
Um dos materiais mais fáceis de realizar as etapas, o papelão pinho permaneceu firme durante a impressão e recebeu bem o material. Por apresentar lados com diferentes texturas, um mais claro e áspero, e outro escuro mais liso, foram

considerados como materiais diferentes para se verificar se esta aspereza interferiria na aderência.

Em algumas das amostras das retas paralelas com alturas intermediárias, houve um leve curvamento replicando o efeito visto no papel sulfite, mas em proporções e ocorrências bem menores.

Um efeito facilmente notado foi a interação das fibras do papelão com o material impresso, especialmente do lado escuro e mais liso. Ao descolar, era possível notá-las presas ao PLA, dificultando inclusive a identificação do limite do desprendimento (Figura 4:11).

Figura 4:11 Interação do PLA com as fibras do papelão pinho



Fonte: o autor

Em várias amostras, parte do material veio fixada ao elemento impresso indicando que a aderência à parte impressa foi maior do que a aderência entre as camadas do próprio material e se limitou a esta ligação mais frágil. Isto se verificou inclusive na necessidade de renovação constante das fitas adesivas, o que também evidencia a baixa aderência entre as próprias camadas do papelão, e foi neste ponto que a maioria das falhas de aderência ocorreram.

No lado direito da Figura 4:12, nota-se o material do papelão bem fixado às formas que foram impressas do lado escuro da folha, enquanto, do lado esquerdo,

onde estão as amostras do lado claro, se vê uma menor interação entre as fibras e, por isto, a aderência com o material impresso não se mostrou tão forte.

Figura 4:12 Resíduos do papelão no descolamento do terceiro teste.



Fonte: o autor

- *EVA*

Este foi o único material que apresentou diferentes medidas durante a checagem da sua espessura. Apesar do exemplar adquirido ser vendido sob a dimensão nominal de 2,5 mm, a chapa mostrou uma variação aleatória entre 2,5 mm e 2,7 mm em vários locais dos retângulos das diferentes amostras. Assim, se optou pela média de 2,6 mm na configuração da impressão.

Além devido à altura, algumas modificações precisaram ser feitas no método de impressão para que a máquina pudesse inicia-la sem colidir com a borda do material. Após alguns testes, a solução encontrada com melhor resultado foi pausar a impressão no primeiro milímetro de deslocamento da reta de expurgo inicial do material de impressão (PLA) (o que fazia a impressora afastar automaticamente o bloco de extrusão do local e ter seu aquecimento desligado para não carbonizar o filamento) para então fixar a amostra no lado direito inferior da mesa, e então retomar a impressão para que a extrusora continue a linha de expurgo (ela automaticamente retoma a temperatura previamente configurada e move a extrusora para o ponto onde houve a pausa) e seguia com o trabalho de impressão.

Isto exigiu também que a reta de expurgo fosse menor para que o bico da extrusora não se aproximasse do EVA. Assim seu código de construção foi substituído por este:

G1 X40.0 E6 F1000.0 ; *executa uma parte reduzida da linha de expurgo*

G1 X70.0 E9 F1000.0 ; *executa a outra parte reduzida da linha de expurgo com maior saída de material*

Por precaução, ao final da linha de expurgo, foi acrescentado um deslocamento vertical de 10 mm (G1 Z10) para que o bico passasse acima do material quando cruzasse sua borda em direção ao ponto de início da impressão.

Durante a impressão, houve uma contração do material pelo calor emitido pelo bico da extrusora. Esta contração gerou sulcos pelo caminho percorrido pelo bico durante a deposição das primeiras camadas (Figura 4:13). Como resultado, material impresso nas amostras de 0,1 mm e 0,2 mm de altura não se mostrava acima da superfície média do EVA.

Uma tentativa de reduzir o sulco aumentando a distância do bico ao material (*Z Offset*) em 0,1 mm resultou em total falta de aderência dos elementos impressos. Então esta ideia foi descartada e retornou-se ao método de impressão anterior.

Figura 4:13 Sulcos gravados no EVA pelo calor do bico.



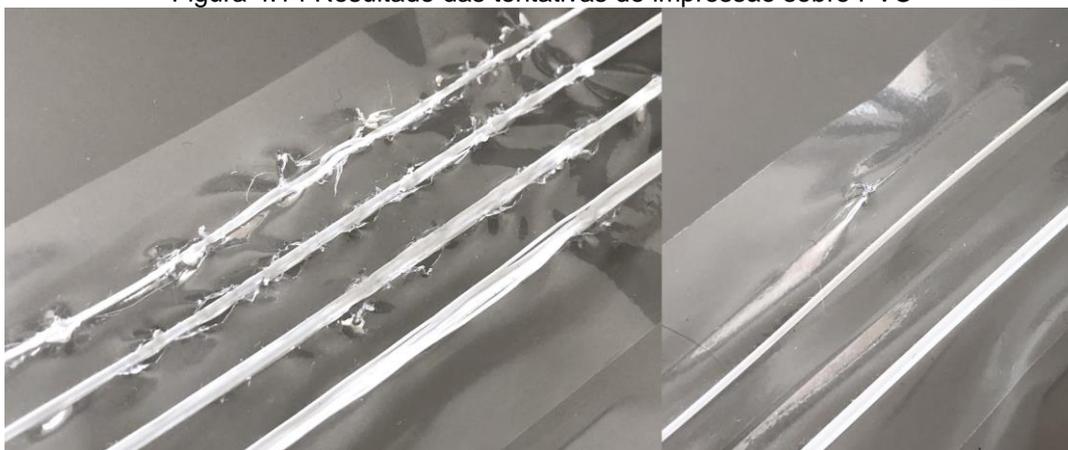
Fonte: o autor

- *Lamicel (PVC)*

Assim como o polietileno, este material sofreu derretimento em alguns locais percorridos pelo bico de impressão. Mas, ao contrário do que se verificou lá, a

aderência do PLA era percebida, especialmente nos locais de fusão do PVC. Porém estas regiões eram caracterizadas por deformações fractálicas enrijecidas e afiadas que certamente atrapalhariam uma percepção do material desenhado (Figura 4:14, lado esquerdo).

Figura 4:14 Resultado das tentativas de impressão sobre PVC



Fonte: o autor

Por isto, resolveu-se alterar as configurações pré-definidas na metodologia para eliminar o problema. Assim, reduziu-se a temperatura do bico e dobrou-se a velocidade de impressão, para que ele ficasse menos tempo sobre cada ponto do material. Também se ativou a ventoinha que se mantém voltada para o ponto de deposição de material já na primeira camada, visando resfriar a região e, conseqüentemente, evitar o derretimento. Estas novas configurações são apresentadas na Tabela 4:3.

Tabela 4:3: Configurações utilizadas no teste com PVC

Parâmetro	Elemento
Temperatura da primeira camada:	200 °C
Temperatura das demais camadas:	200 °C
Velocidade da ventoinha de resfriamento do filamento impresso (mín. / máx.) (<i>Fan speed</i>)	50% / 100%
Número de camadas com ventoinha desligada (<i>Disable fan for the first</i>)	0
Camada na qual a ventoinha alcançará a velocidade máxima (<i>Full fan speed at layer</i>)	2
Velocidade de impressão do filamento de contorno (<i>perimeters</i>):	100 mm/s
Velocidade de impressão do preenchimento sólido (<i>solid infill</i>):	100 mm/s

Parâmetro	Elemento
Velocidade de impressão da camada de topo (<i>top solid infill</i>):	100 mm/s
Velocidade de impressão do preenchimento interfilamentos (<i>gap</i>):	100 mm/s

Fonte: o autor

Estas novas configurações não eliminaram completamente o derretimento, embora tenham reduzido sua ocorrência (Figura 4:14, lado direito). No entanto, elas afetaram enormemente a aderência e algumas retas não se fixaram ao material. Outras, se soltaram no momento da retirada do conjunto da impressora. As que ficaram, não resistiram ao rolamento. Por isto, este material também foi descartado do experimento.

- *Papel vergê 120 g/m²*

Assim como aconteceu com o papel sulfite, o papel vergê também se curvou durante o resfriamento nos mesmos eixos, porém em uma proporção menor do que o sulfite e maior do que o papelão pinho. Excetuando o estado pós-resfriamento, ele se comportou rigidamente, se tornando um dos materiais com montagem e execução mais rápida e de menor número de falhas dentre todos os testados.

- *Papel sulfite 180 g/m²*

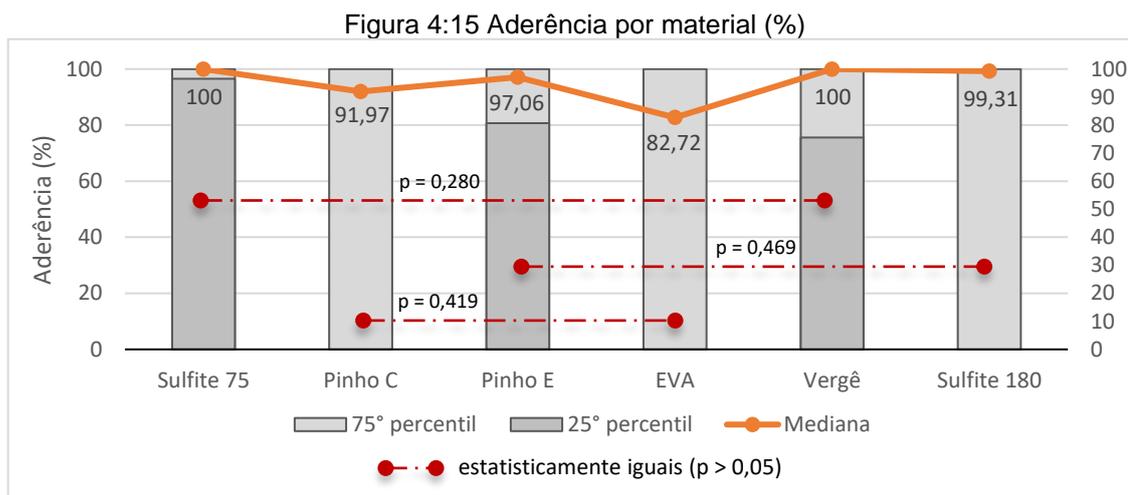
Diante os resultados de aderência do papel sulfite de 75 g/m² e de seu enrugamento, além dos bons resultados do papel vergê de 120 g/m², o papel sulfite de 180 g/m² foi adicionado aos testes. A hipótese era a de que ele manteria a aderência do sulfite de 75 g/m² com rigidez igual ou maior do que a do vergê de 120 g/m².

Durante a impressão, ele se mostrou mais rígido do que o vergê, com menor curvatura, praticamente sem enrugamento e apresentando a superfície mais lisa (tanto em termos de aspereza quanto de não enrugamento) dentre todos os materiais. Também foi um dos mais fáceis na realização do procedimento.

- *Comportamentos e Desempenho*

Passaram pelas configurações do teste 1 de aderência 672 amostras, 112 de cada material (com variações de sete alturas, quatro larguras, em quatro exemplares impressos de cada configuração).

O sulfite de 75 g/m² apresentou a melhor aderência com mediana de 100%. O 25º percentil indica que 75% dos resultados mostraram um comprimento acima de 96,516% ainda aderente após o rolamento (Figura 4:15). No entanto, como citado anteriormente, este material também acumulou as maiores deformações da superfície.



O papel vergê de 120 g/m² também entra neste grupo de maior aderência igualando a alta mediana dos resultados do sulfite de 75 g/m² (100%). Mas seu 25º percentil foi menor do que a do outro material (75,609%) e seu enrugamento, menos intenso.

O lado escuro do papelão pinho, e o papel sulfite de 180 g/m² vêm em um segundo grupo de materiais com boa aderência. O lado escuro do pinho não apresentou enrugamento, devido à sua maior espessura (0,75 mm). Obteve 25º percentil de 80,719%, indicando resultados pouco dispersos. Também obteve mediana um pouco mais baixa do que a dos materiais anteriormente descritos, a qual indica que metade das amostras mantiveram mais de 97,063% de seu comprimento aderido ao material base.

O papel sulfite de 180 g/m² apresentou um resultado intermediário com aderência próxima das mais altas (mediana de 99,313%) com enrugamento e distorções muito baixos. No entanto, a metade das amostras que se encontra abaixo da mediana apresentou resultados dispersos, levando o 25º percentil ao zero, dentro das condições de configuração do teste.

No terceiro grupo de resultados, se encontram o lado claro do papelão pinho e o EVA. Ambos apresentaram bons resultados de aderência apenas nas menores alturas testadas. As medianas estão entre as menores: 91,969% para o pinho e 82,719% para o EVA. Ambos também geraram 25º percentil de 0% e 75º percentil de 100%, mostrando grande amplitude nos seus resultados.

O teste Shapiro-Wilk (1965) apontou que os resultados de aderência se apresentaram sob uma distribuição não-paramétrica ($p < 0,001$ para todos eles).

No teste de paridade após o teste de Kruskal-Wallis (1952), a distribuição dos grupos mencionados se confirmou. Três pares de materiais se mostraram iguais: (1) a aderência do papel sulfite de 75g/m² e a do papel vergê ($p = 0,280$); (2) os resultados do papel sulfite de 180 g/m² e os do lado escuro do papelão pinho ($p = 0,469$); e (3) os números do lado claro do papelão pinho e os do EVA ($p = 0,419$).

As demais paridades se mostraram significativamente diferentes dos demais ($p < 0,001$) (Figura 4:15).

4.1.3.2.2 Altura

Cada uma das sete alturas de linha impressa foi testada 96 vezes no teste 1, através dos diferentes materiais e larguras descritos na metodologia. Sob a altura de 0,1 mm não houve descolamento algum. As linhas permaneceram completamente fixadas após os dois processos de enrolamento em todas as amostras, não importando o material nem a largura das linhas.

As de 0,2 mm e 0,3 mm apresentaram descolamentos mínimos fechando os três quartis (25º percentil, mediana ou 50º percentil, e 75º percentil) com aderência de 100% para ambas as alturas.

A altura impressa de 0,4 mm se mostrou como o limite destes altos valores de aderência: a mediana se estabeleceu em 98,344% do comprimento das linhas se mantendo fixados aos materiais. O 25º percentil indica a baixa dispersão ao posicionar 75% das amostras acima dos 90,953% de aderência do comprimento das linhas.

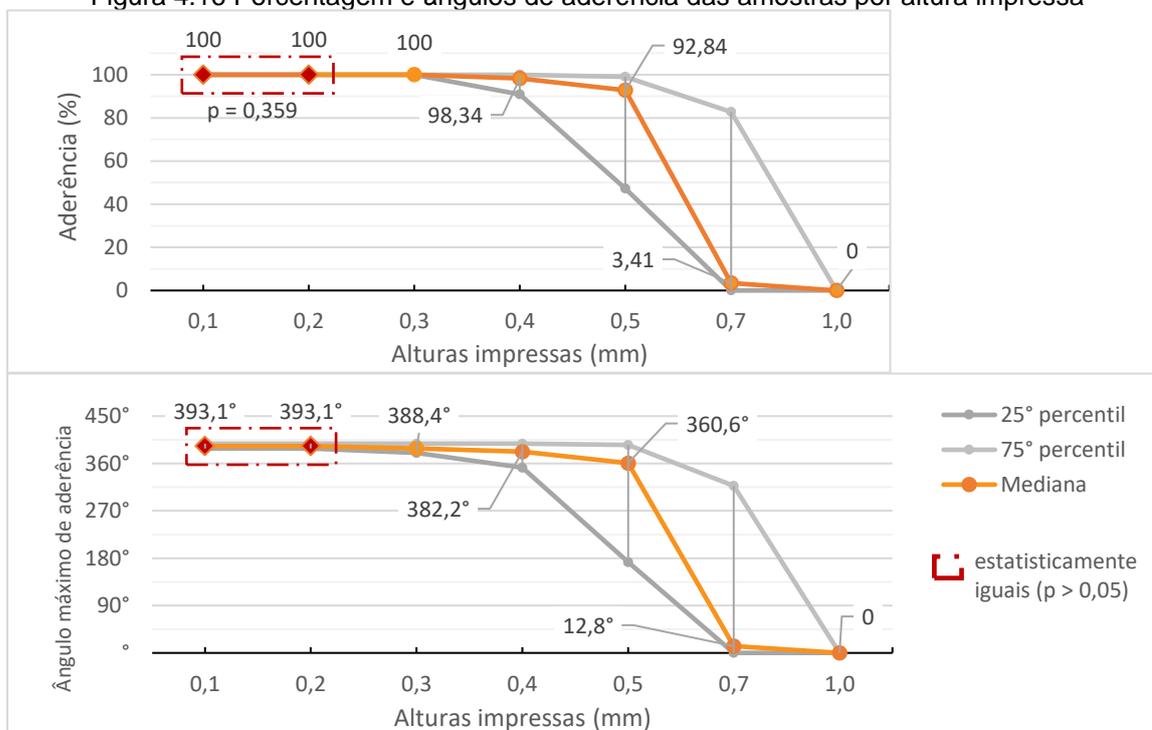
A partir de então, houve uma queda rápida nos valores: a altura de 0,5 mm apresentou uma mediana de 92,844%, medida que despenca para apenas 3,41% quando a altura passa a 0,7 mm. Os percentis 25% e 75% ampliam sua distância para

a mediana, indicando um comportamento mais variado diante do enrolamento, indo de 47,203% e 99,078% em 0,5 mm a 0% e 82,75%, na altura de 0,7 mm.

A altura impressa de 1 mm proporcionou a maior resistência à curvatura, mantendo alguma porção do elemento impresso fixada em poucas ocorrências, o que levou aos três quartis de 0%.

A Figura 4:16 apresenta estas informações. Nela, é possível perceber a drástica queda da mediana entre as alturas 0,5 mm e 0,7 mm e ampliação da dispersão neste ponto.

Figura 4:16 Porcentagem e ângulos de aderência das amostras por altura impressa



Fonte: o autor

Quando convertido em ângulos, têm-se que as alturas impressas de 0,1 mm e 0,2 mm suportaram 393,08° de torção em mediana. Este valor considera a influência das variações de espessura dos materiais da base no cálculo da circunferência e, conseqüentemente, nos ângulos de torção. Desta maneira, O comprimento de 160 mm das linhas equivale a valores entre 360,21° no EVA, o mais espesso, a 399,45° no sulfite de 75 g/m², o material mais fino, passando pelos 388,45° do papelão pinho e pelo 397,71° dos papes vergê e sulfite de 180 g/m².

Na medida do aumento da altura das impressões, as medianas caem: 388,45° em 0,3 mm; 382,22° em 0,4 mm; 360,65° em 0,5 mm; 12,84° de curvatura na altura

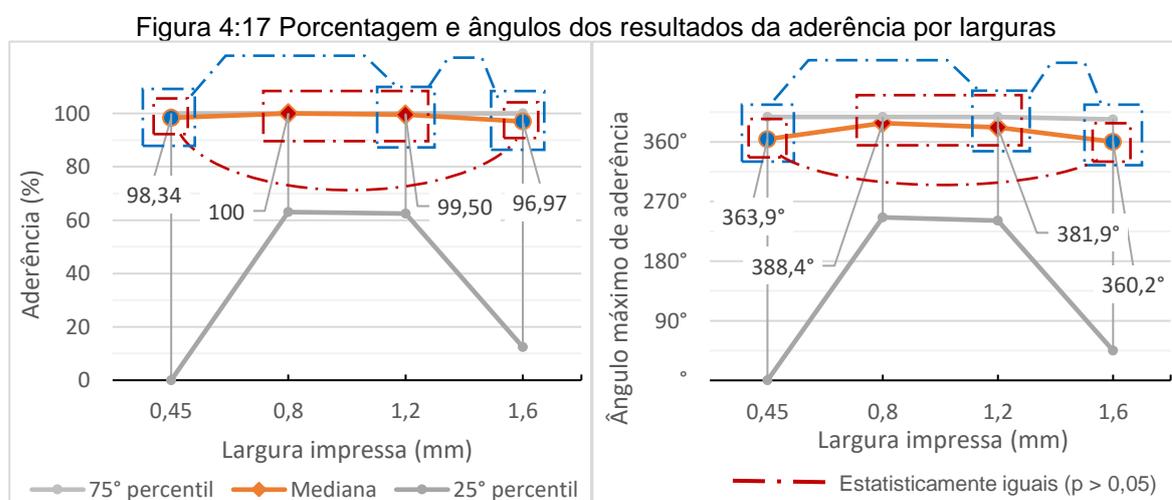
de 0,7 mm, mostrando que metade das amostras suportou flexão até este ângulo; e os três quartis em 0° para a altura impressa de 1 mm (parte de baixo da Figura 4:16).

A distribuição da amostragem se mostrou não-paramétrica ($p < 0,001$ para todas, exceto para a altura 0,1 mm, que obteve o mesmo resultado em todas as amostras).

Verificando a significância estatística das diferenças entre os resultados de cada altura através do teste de Kruskal-Wallis (1952) e *post hoc* de Dunn (1961), percebe-se que há semelhança de eficácia de aderência entre os resultados das alturas 0,1 mm e 0,2 mm. Os resultados de aderência sob as demais alturas são significativamente diferentes (Figura 4:16).

4.1.3.2.3 Largura

Cada largura das linhas sofreu 168 testes entre os diferentes materiais e alturas. As duas melhores condições se apresentaram nas larguras intermediárias. 0,8 mm e 1,2 mm tiveram medianas de aderência de 100% e 99,5% respectivamente. A largura de 0,45 mm foi a que apresentou resultado mais baixo, 98,344%, enquanto a de 1,6 mm teve média um pouco acima, 96,969%. Nestes dois últimos casos também houve uma grande dispersão dos resultados com o 25° percentil da largura 0,45 mm chegando ao 0%, e o da largura 1,6 mm, 12,484% (Figura 4:17).



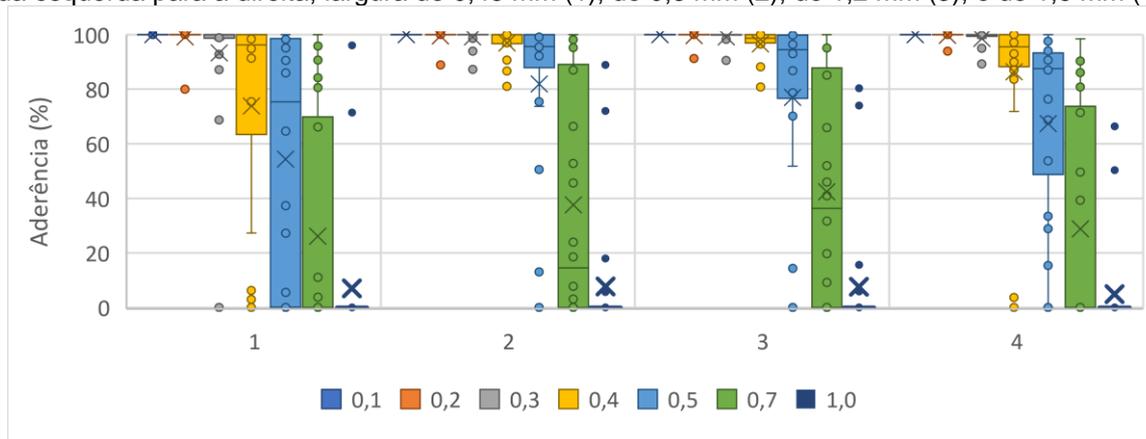
Fonte: o autor

Espelhando estes números, têm-se os ângulos medianos de 388,45°, quando isoladas as amostras de 0,8 mm de largura, e de 381,85° para a largura de 1,2 mm. A largura de 0,45 mm alcançou, em mediana, 363,94° e a de 1,6 mm teve metade dos seus resultados acima dos 360,21°.

O teste de normalidade apontou amostras não-paramétricas. Após o teste de Kruskal-Wallis (1952), o *post hoc* de Dunn (1961) mostrou haver distinção entre os resultados das larguras de 0,45 e 0,8 mm ($p = 0,019$) e entre 0,8 mm e 1,6 mm ($p = 0,024$). Por outro lado, as maiores proximidades estão entre 0,45 mm e 1,6 mm ($p = 0,464$), e entre 0,8 mm e 1,2 mm ($p = 0,316$). Há uma semelhança próxima do limite entre 0,45 mm e 1,2 mm ($p = 0,056$) e entre 1,2 mm e 1,6 mm (0,067).

Comparando-se os resultados das larguras com o das alturas dos elementos impressos, percebe-se que a largura mais fina (0,45 mm) afetou principalmente a altura de 0,4 mm e de 0,5 mm, mas ela se comportou de forma semelhante às demais nas outras alturas. O 75º percentil para a altura de 0,7 mm nunca alcança o valor 100% em nenhuma largura enquanto na altura de 1 mm o valor máximo nunca chegou ao este número, ficando em 96,06% e apresentando aderência quase zero na grande maioria dos seus resultados, A Figura 4:18 ilustra a evolução destes dados reunindo as sete alturas em quatro agrupamentos relativos às larguras.

Figura 4:18 Relação da aderência entre as sete alturas e as quatro larguras testadas. Nas áreas da esquerda para a direita, largura de 0,45 mm (1), de 0,8 mm (2), de 1,2 mm (3), e de 1,6 mm (4).

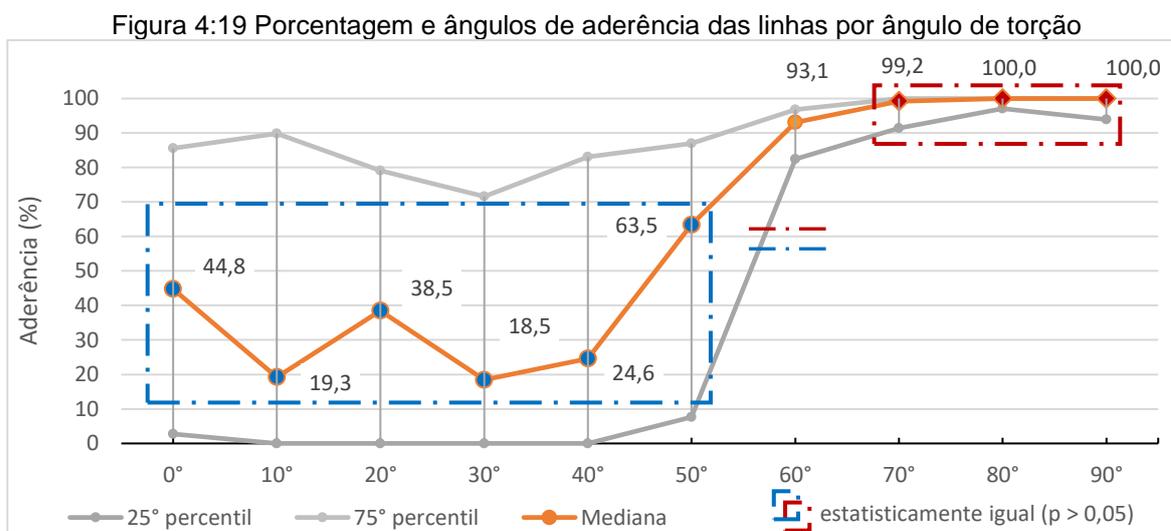


Fonte: o autor

4.1.3.3 Ângulo de torção

Para o teste dois, foram tomadas 480 medidas, perfazendo 240 amostras, 24 para cada ângulo testado. A hipótese anterior ao teste era que os ângulos que se colocassem perpendiculares ao eixo de torção do cilindro teriam menor aderência por sofrer maior força contrária à sua orientação, e isto se reduziria de forma linear e constante até as linhas que estivessem em posição paralela ao giro. Mas o que se apresentou foi uma perda heterogênea de aderência do 0° até os 30° e, a partir daí, um ganho rápido até os 70° quando então se estabilizou.

No gráfico da parte superior da Figura 4:19, percebe-se como a linha das medianas constroem quase uma reta em grande aclive dos 40° aos 60°. Além disto, o comportamento foi bastante errático nos baixos ângulos (alta perpendicularidade), apresentando medianas variando de 44,8% no ângulo de 0°, a 18,45% de aderência no ângulo de 30°.



Fonte: o autor

Em outras palavras, as linhas impressas mais próximas da perpendicularidade em relação à torção apresentaram menor aderência com maior dispersão seus resultados. Isto é facilmente perceptível até os 40°. Dos 60° aos 90° os resultados de aderência foram muito mais concentrados, como pode-se perceber pela proximidade dos quartis de 25% e de 75%. A mediana cresce até os 80° e então se mantém.

Estatisticamente, a amostragem se apresenta como não-paramétrica ($p < 0,003$) e o *post hoc* de Dunn (1961) sobre o teste de Kruskal-Wallis (1952) indica que

a aderência entre os ângulos configura dois blocos: entre 0° e 50° as diferenças de valores entre os ângulos não são significantes em todas as combinações possíveis de ângulos ($0,089 < p < 0,449$), mas se tornam diferenças significantes nas combinações entre estes ângulos e quaisquer outros acima de 50° ($p < 0,001$ a $p = 0,010$).

O mesmo acontece com os ângulos entre 70° e 90°, onde há semelhanças significantes ($0,262 < p < 0,409$), e então voltam a se tornar diferenças significantes em relação aos ângulos abaixo deles ($p < 0,001$ a $p = 0,044$). A Figura 4:19 ilustra estas relações e permite visualizar os dois blocos de relações que caracterizam a aderência neste estudo e o isolamento do ângulo de 60°.

4.1.3.4 *Formas e superfícies*

O terceiro teste avaliou duas formas de preenchimento de superfície e três formas geométricas em preenchimento sólido em busca de suas influências. Foram 216 medições em 108 amostras.

Devido à maior área de contato, todos os materiais apresentaram maior aderência neste teste do que nos anteriores, os quais contavam apenas com linhas, mesmo sobre os materiais com resultados de menor aderência, como o EVA. No entanto, com um valor menor para o comprimento das formas analisadas e maior para a área de contato, não se pode comparar diretamente a aderência destas amostras com as dos testes anteriores, mas é possível observar as diferentes reações entre as variáveis aqui apresentadas e testadas.

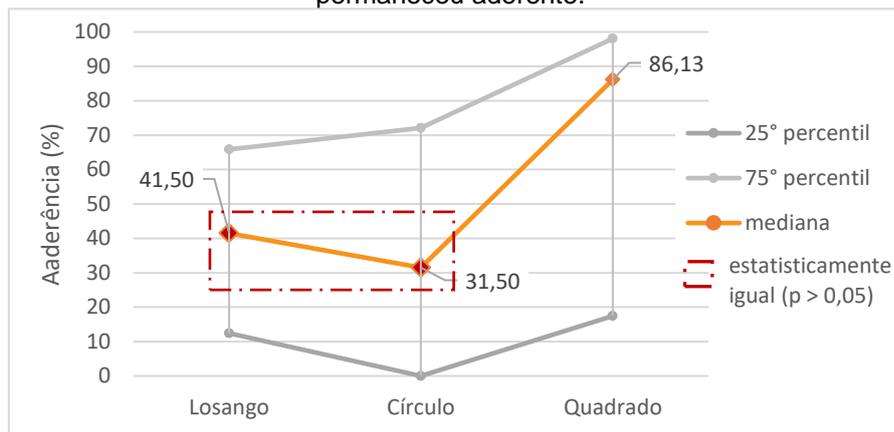
4.1.3.4.1 Formas

Analisadas as 36 amostras para cada forma geométrica, o quadrado se mostrou destoante das demais figuras: metade das amostras mantiveram mais de 86,125% do comprimento fixado após a etapa de enrolamento. A segunda forma com melhor resultado foi o losango (mediana em 41,5%) e, mais próximo a este, se mostrou o círculo (mediana de 31,5%) (Figura 4:20).

O maior resultado do losango foi 80,6% do comprimento se mantendo aderente enquanto os demais alcançaram o 100% duas vezes (círculo) e sete vezes (quadrado). O círculo foi a única figura com um dos quartis em 0%.

Estatisticamente a amostra se mostrou não-paramétrica e o teste de Kruskal-Wallis (1952) com o de paridade de Dunn (1961) acusou que há significância na proximidade entre os valores do losango e do círculo ($p = 0,382$). Porém, ambas geraram resultados significativamente diferentes em relação ao quadrado ($p < 0,003$).

Figura 4:20 Porcentagem do comprimento das formas que permaneceu aderente.

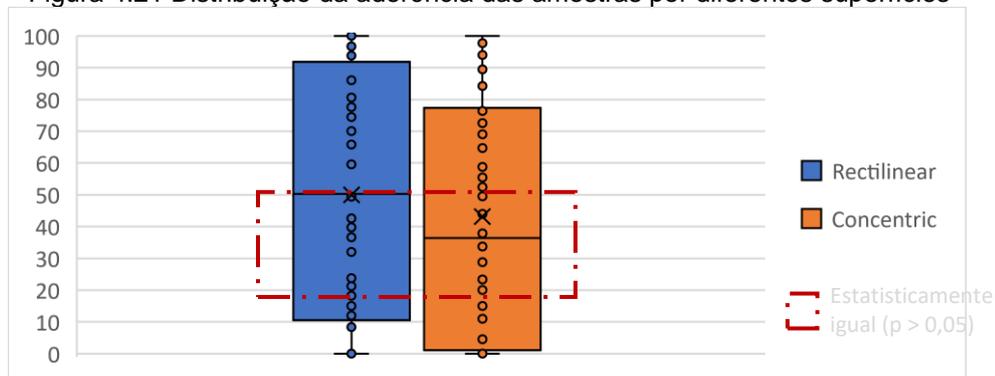


Fonte: o autor

4.1.3.4.2 Superfícies

Os resultados da impressão com superfícies inferior e superior variando entre *rectilinear* e *concentric* mostraram médias gerais de resultados próximas: 49,94% e 43,12%, respectivamente, das 54 amostras de cada superfície. As medianas se

Figura 4:21 Distribuição da aderência das amostras por diferentes superfícies

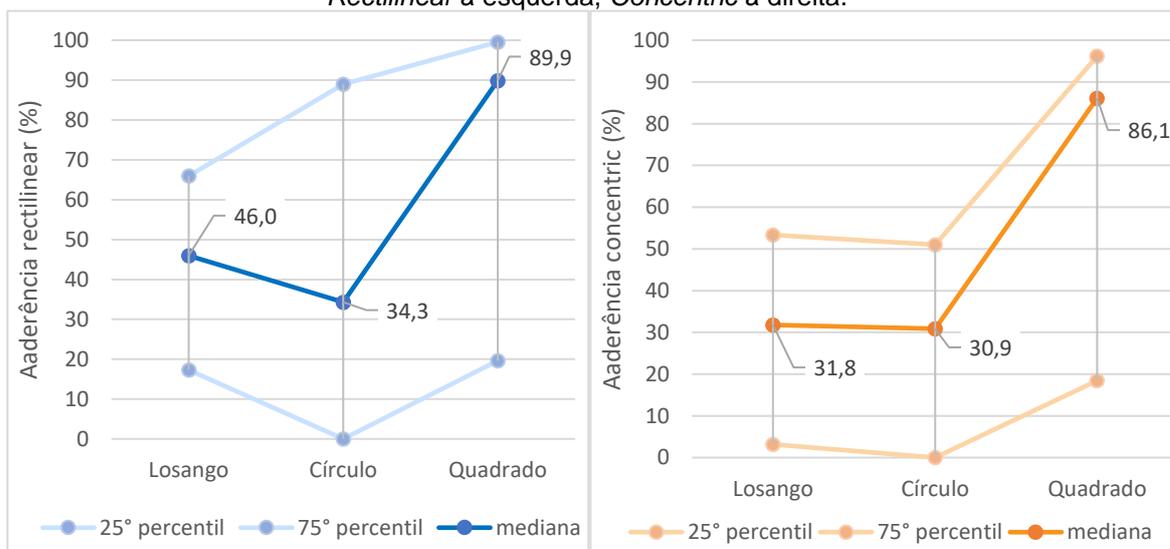


Fonte: o autor

apresentaram um pouco mais distantes entre si: 50,3% utilizando o *rectilinear* e 36,4%, no *concentric* (linhas horizontais nos centros dos retângulos da Figura 4:21).

O aumento da diferença foi afetado pelos resultados do losango, o qual teve aderência um pouco melhor quando impresso com superfície *rectilinear*. Isto fica perceptível na Figura 4:22, a qual compara os quartis de ambas as superfícies por

Figura 4:22 Diferenças de aderência entre as formas por tipo de superfície. *Rectilinear* à esquerda, *Concentric* à direita.



Fonte: o autor

cada forma geométrica. Nela, além deste ganho do losango, é possível perceber que, apesar de apresentar medianas ligeiramente mais baixas no círculo e no quadrado, a superfície do tipo *concentric* obteve resultados mais concentrados do que os da *rectilinear*.

Por serem apenas duas variáveis, o teste estatístico utilizado para verificar a diferenças foi do de Mann-Whitney (1947). Com um valor $p = 0,317$, pode-se afirmar que as variações nos resultados não são suficientes para declarar diferença entre os tipos de preenchimento de superfície.

4.1.4 Conclusões

Materiais a base de celulose tiveram um bom desempenho ao aderir ao PLA, especialmente aqueles com maior densidade.

As alturas das linhas impressas se mostraram como os principais influenciadores da adesão, a qual cai rapidamente quando se varia de 0,5 mm a 0,7 mm, quando construídas com larguras entre 0,45 mm e 1,6 mm.

As larguras tiveram resultados muito próximos com ligeira vantagem para as de 0,8 mm e 1,2 mm, respectivamente dois e três perímetros em um bico de impressão com 0,4 mm de diâmetro.

Na variação dos ângulos em relação ao eixo de torção, sobressaíram aqueles entre 0° e 20° em relação ao eixo de torção. Da perpendicularidade aos 50° em relação a este mesmo eixo, não houve diferenças significantes nos baixos resultados de aderência.

O padrão de preenchimento das superfícies de topo e base não afetou significativamente a aderência, mas a formas geométrica quadrada obteve resultado melhor do que o losango e o círculo.

Com estes valores localizados para as variáveis testadas, alguns deles foram selecionados para a aplicação com voluntários, os reais validadores do conhecimento prático desta pesquisa. Esta avaliação é descrita no tópico seguinte.

4.2 Percepção dos elementos impressos

No design, é imprescindível a presença do usuário no processo de desenvolvimento. Assim, esta etapa, que rege aspectos projetuais da concepção do artefato que transmitirá a informação, toma base em aspectos já visitados nos experimentos anteriores desta pesquisa, e seguem considerando sua relação com o uso e a interpretação do usuário.

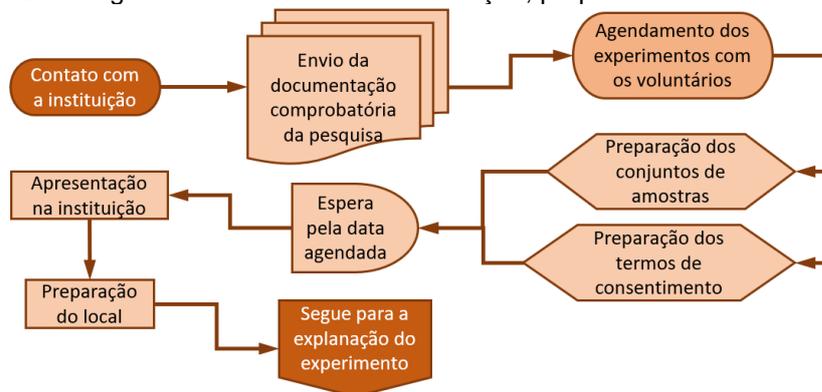
Características de impressão, como larguras e altura das linhas são exemplos de variáveis em busca do resultado de entendimento da informação visual apresentada. Assim, nesta fase se trabalhou próximo a voluntários para se averiguar a relação entre essas configurações e o uso das imagens táteis.

4.2.1 Metodologia

Os procedimentos experimentais do estudo foram elaborados respeitando as diretrizes da resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Para a aplicação, primeiramente as instituições foram contatadas por telefone e a pesquisa foi explicada. Após o envio de documentação comprobatória por e-mail, datas de visita foram agendadas (Figura 4:23).

Figura 4:23 Fluxograma do contato com a instituição, preparo das amostras e do local



Fonte: o autor

Durante as visitas, todos os aplicadores vestiam máscaras do tipo PFF2. O voluntário indicado era encaminhado à sala apontada pela instituição e se acomodava em uma cadeira diante de uma mesa ou em uma carteira escolar. No momento da apresentação inicial, os voluntários foram informados do objetivo e dos procedimentos gerais da pesquisa, bem como seus riscos e benefícios. Na ocasião da execução dos experimentos, essas informações foram reapresentadas. A elas foram acrescentadas a possibilidade de desistência a qualquer momento sem prejuízo em seu relacionamento com o pesquisador nem com quaisquer das instituições envolvidas. Desta maneira, a metodologia só seria seguida enquanto houvesse a vontade de contribuir e permanecer do voluntário.

Para resolver qualquer questão futura pendente, informações de contato (nome, telefone e e-mail) foram solicitadas ao voluntário. Estes dados não serão divulgados em hipótese alguma, mas serão armazenados em arquivo digital no computador pessoal do responsável pela pesquisa e em sistema armazenamento

privado na internet, e ficarão sob responsabilidade do pesquisador por um período mínimo de cinco anos, quando então poderão ser apagados.

Os dois principais riscos dos procedimentos residem em (a) o deslocamento da residência do voluntário para a instituição e posterior retorno, e (b) possibilidade de pressão psicológica e/ou ansiedade por acertar as imagens.

Para minimizá-las, os experimentos foram realizados na própria instituição à qual o voluntário está ligado e costuma frequentar, ocorrendo então em uma dessas presenças, o que evitou um deslocamento adicional exclusivamente para a pesquisa e a inseriu no próprio hábito diário do usuário.

Quanto à pressão psicológica, foi minimizada por uma conversa inicial na qual foi colocada (1) a desobrigação de identificação correta das imagens, afinal o experimento é uma busca pela melhor configuração de confecção das imagens; (2) a possibilidade de desistência sem ônus a qualquer instante. Outras duas medidas foram adicionadas: (a) um tempo máximo para a realização das tarefas; e (b) a possibilidade de novas conversas visando a calma e evitar frustrações, se o voluntário se mostrar muito nervoso ou ansioso.

Outros riscos envolvem situações de baixa possibilidade de ocorrência, como enchentes e problemas graves de saúde. Para o primeiro caso, as atividades da instituição estariam suspensas, impossibilitando também a execução da pesquisa. No caso de problemas de saúde, o pesquisador esteve presente com um automóvel, o que facilitaria o deslocamento para a unidade de saúde mais próxima.

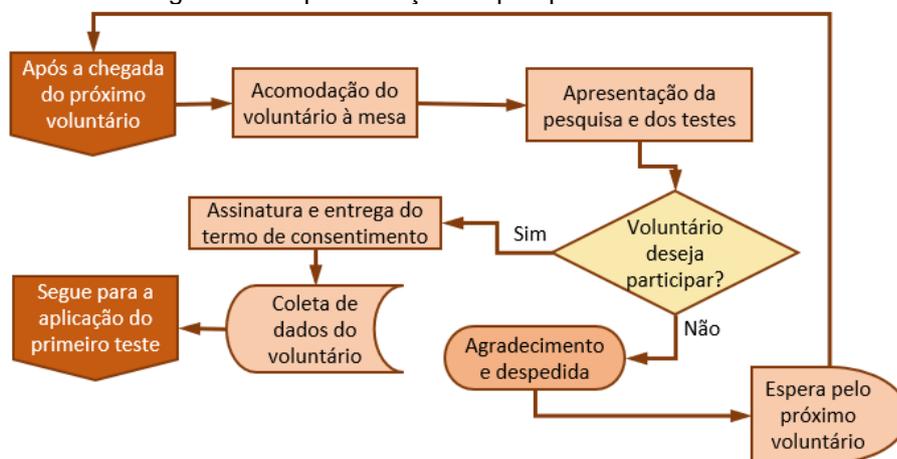
Problemas mais simples de saúde que levassem à indisposição também levariam à suspensão do experimento até que o voluntário se mostrasse de volta ao seu estado de normalidade ou a sua dispensa com seu transporte à unidade de saúde mais próxima.

4.2.1.1 *Público-alvo*

O público-alvo buscado para os testes foi restrito a indivíduos acima de dezoito anos; com deficiência visual completa ou parcial; sem deficiência auditiva, nem de fala, nem cognitiva; que fossem alunos, profissionais e/ou frequentadores de entidades de apoio e ensino a pessoas com deficiência visual, e se encontrassem em visita ou em um intervalo do horário de trabalho; e que aceitassem, de livre arbítrio e consentimento, voluntariar-se aos experimentos apresentados.

Mediante a concordância na participação e a assinatura do termo de consentimento (ou gravação da impressão digital), o voluntário recebia uma cópia do termo de consentimento resumindo os testes e a pesquisa, assinado pelo autor, e a aplicação era iniciada com o levantamento das informações de contato (Figura 4:24). Além destas, também foram coletados CPF, sexo, idade, escolaridade, tempo de deficiência, porcentagem de visão e se possuía alguma doença que afetasse sua percepção no seu dia a dia.

Figura 4:24 Fluxograma da apresentação da pesquisa e coleta de dados do usuário



Fonte: o autor

No caso dos indivíduos com baixa visão, um aparato rígido foi colocado pelo aplicador do teste entre os olhos do participante e as folhas impressas para evitar a observação dos elementos.

4.2.1.2 Metodologia dos testes

Como citado na página 56, segundo Mazella, Albaret e Picard (2016), a percepção e compreensão de elementos táteis são dependentes de habilidades do usuário. Os autores indicam (1) o escaneamento (habilidade de explorar, detectar elementos e seguir linhas sem perda de contato), (2) a discriminação tátil (habilidade de correspondência de formas e texturas), (3) a compreensão espacial (posicionamento e orientação de figuras), (4) a memorização de curto prazo (retenção de informações), e (5) compreensão da imagem (identificação do componente e de seus elementos semânticos). Estes elementos inspiraram os conjuntos de testes com

os usuários em busca da informação de como as características de impressão podem facilitar estas atividades.

Foram desenvolvidos três testes. O primeiro deles analisou o desempenho das características impressas na habilidade de escaneamento, o segundo investigou a percepção de texturas na habilidade de discriminação tátil, e o terceiro coletou dados das características de impressão sob o uso das habilidades de compreensão espacial e de compreensão da imagem. Este último teste também requeria a habilidade de memorização de curto prazo como item intrínseco, mas ela não foi especificamente avaliada, embora observada.

Foram analisadas as alturas e as larguras de impressão dos contornos com melhor desempenho nos experimentos de aderência (alturas de 0,1 mm a 0,3 mm, mais a altura de 0,4 mm; larguras de 0,8 mm e 1,2 mm).

Todos os elementos dos estudos foram impressos com filamento de polímero PLA previamente mantido em caixa estanque mantida com 40% de umidade relativa, sendo retirado apenas no momento e duração das impressões. Foram utilizados a impressora Prusa MK3S com mesa aquecida a 70 °C, e papel sulfite de 180 g/m².

A escolha do material base se deu por ter apresentado uma boa aderência combinada com baixo enrugamento e ausência de qualquer textura tátil, algo que não se verificou após nos demais materiais anteriormente verificados. O papel foi previamente mantido por 12 horas sob umidade relativa de 40%.

Assim como os testes anteriores, a impressora foi calibrada em relação ao multiplicador de extrusão, para maior precisão da largura do filamento depositado, e em relação à compensação de linearidade, para a homogeneidade da deposição (vide nota número 11, na página 116).

4.2.1.2.1 Escaneamento

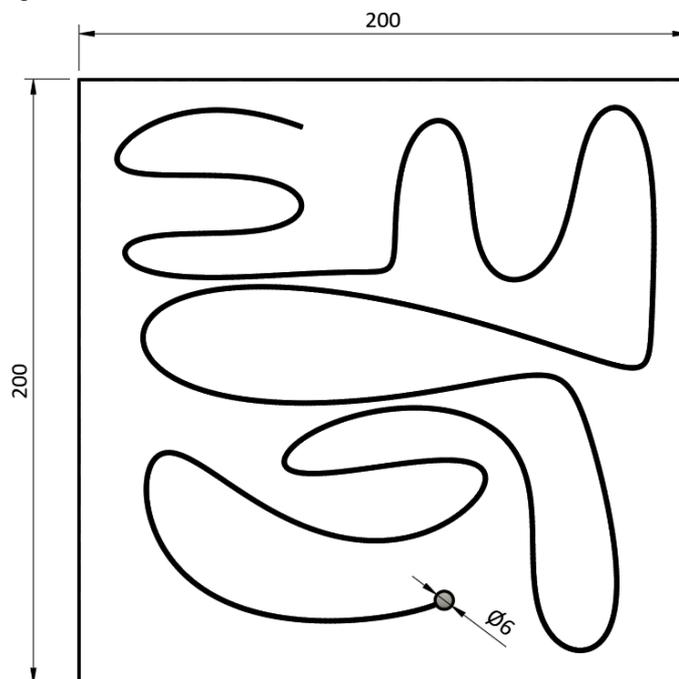
Para o primeiro teste, uma semiesfera de 6 mm de diâmetro foi impressa sobre uma folha quadrada do papel com 200 mm de lado. A partir da semiesfera, uma linha a ser seguida pelo voluntário percorre a folha, descrevendo uma série de curvas aleatórias até um local final (Figura 4:25).

Apesar de as curvas serem aleatórias e orgânicas, há dois locais no percurso que foram pensados para testar a habilidade pelo potencial de gerar incerteza. Neles,

a linha aproxima duas regiões diferentes dela mesma em convergência sem se tocarem. Se o usuário não se mantiver no trecho que vinha acompanhando, pegará o caminho ao lado e retornará ao início, percebendo este fato ao tocar a semiesfera.

Esta linha foi gerada com as combinações das quatro alturas (0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm), com as duas larguras (0,8 mm e 1,2 mm) citadas anteriormente, totalizando oito elementos para experimentação. Todos foram impressos sobre um deslocamento inicial de altura (*z offset*) de 0,2 mm, por conta da espessura do sulfite, com a mesa da impressora aquecida a 70 °C.

Figura 4:25 Desenho construtivo do teste de escaneamento



Fonte: o autor

Para a disposição precisa sobre a mesa da impressora, as formas foram desenhadas acompanhadas de um retângulo com a dimensão da folha. No software fatiador, foi alinhada de modo que o retângulo tocou nas bordas limítrofes do canto inferior direito da impressora e então ele foi deletado, deixando as curvas e a semiesfera na sua posição de impressão.

Lá, também foi alterado o valor do parâmetro de compensação de dilatação de material (*Elephant Foot Compensation*) para zero, pois a pré-visualização informava uma redução na largura impressa na primeira camada, o que reduziria a

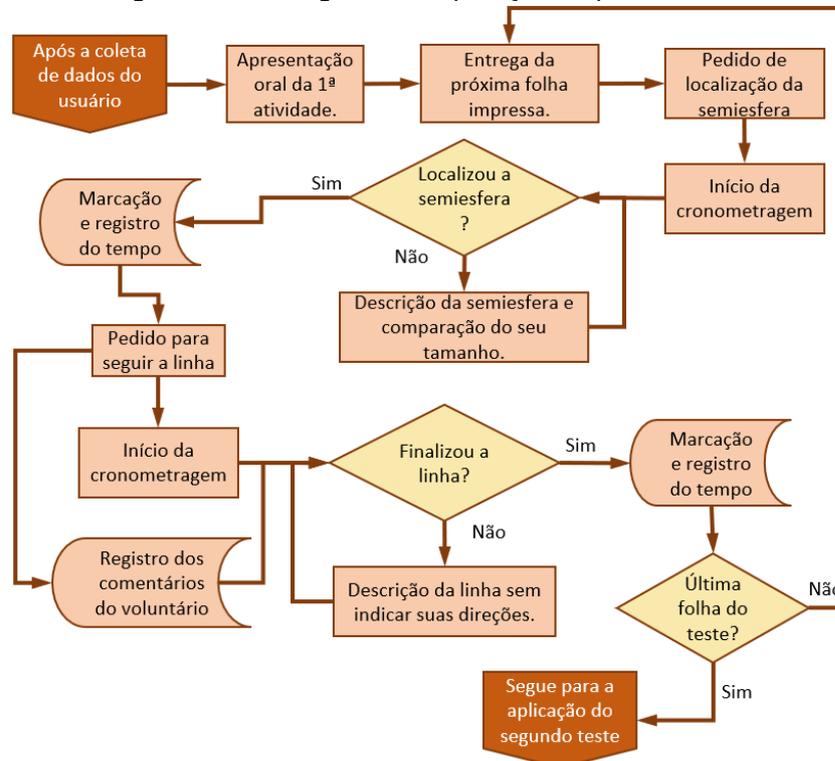
área de contato, mas o material utilizado, PLA, não é tão afetado pelas variações térmicas da deposição.

Para aplicar o teste com as oito variações possíveis das características (largura e altura), a ordem das amostras foi previamente aleatorizada para cada voluntário. Para dificultar a memorização do caminho, um outro parâmetro foi incluído e aleatorizado: o ângulo no qual o voluntário recebia a folha. Variando a rotação em múltiplos de 90°, tinha-se a variação da posição da semiesfera e da orientação do caminho a ser seguido. Para a eficácia deste recurso, a aleatorização, possuía uma regra para evitar que ângulos iguais não se seguissem.

Imediatamente antes de aplicar o primeiro teste, as tarefas requisitadas eram citadas pelo aplicador: localizar a semiesfera e seguir a linha que partia dela. Também era informado que a tarefa seria cronometrada.

No momento da entrega da folha era solicitado encontrar a semiesfera. Quando encontrada, se pedia para seguir a linha que partia dela por toda a sua extensão sem perda de contato. Eram anotados tanto o tempo para a localização da

Figura 4:26 Fluxograma de aplicação do primeiro teste



Fonte: o autor

semiesfera quanto do curso completo da linha. O processo se repetiu pelas oito possibilidades de dimensionamento. Se o convidado não conseguisse finalizar a linha em até dois minutos, havia o convite para uma nova tentativa na amostra seguinte.

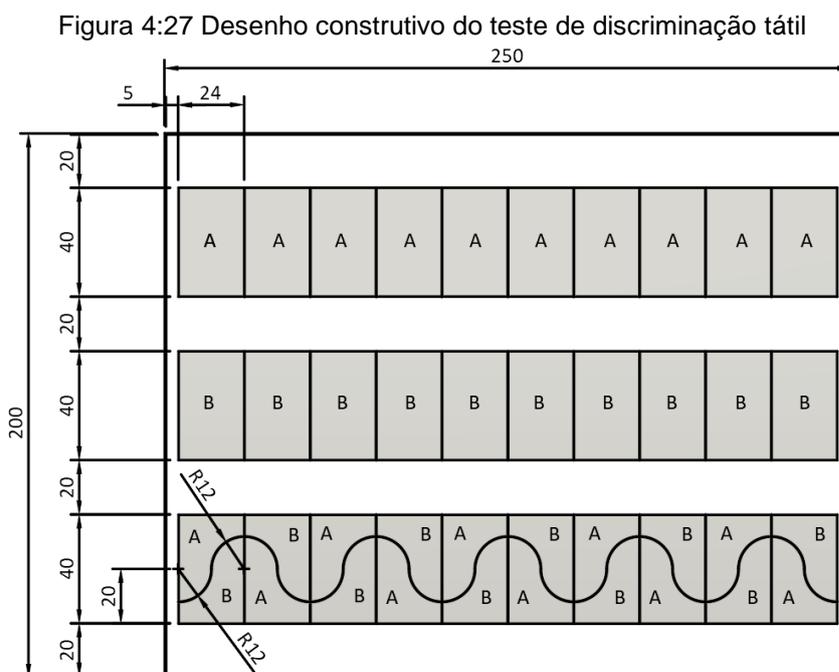
A Figura 4:26 resume as etapas destes procedimentos em um fluxograma.

4.2.1.2.2 Discriminação tátil

Heller (1989b) afirmou que a percepção da granulidade pelo tato alcança 6000 grãos/cm² (3.2.2.2 Texturas, página 58). Utilizando-se da habilidade de discriminação, o segundo teste buscou identificar essa limitação na prática: o limite de variação densidade identificável para texturas impressas.

As texturas foram obtidas pelo *infill* gerado automaticamente pelo software fatiador. Para isto, a camada superior, a padronagem da superfície que normalmente fecharia a peça, foi zerada, expondo o padrão escolhido para o preenchimento interno (vide Figura 3:24, na página 94, para as padronagens).

Para a aplicação do teste, as texturas foram distribuídas em três faixas com dez retângulos em cada uma. Estes retângulos possuíam dimensão de 24 mm de largura por 40 mm de altura e foram posicionados lado-a-lado sem



Fonte: o autor

espaçamento (Figura 4:27). Em cada um deles, o preenchimento interno foi impresso com uma densidade diferente, partindo do 10%, na extrema esquerda, ao 100%, no limite da direita.

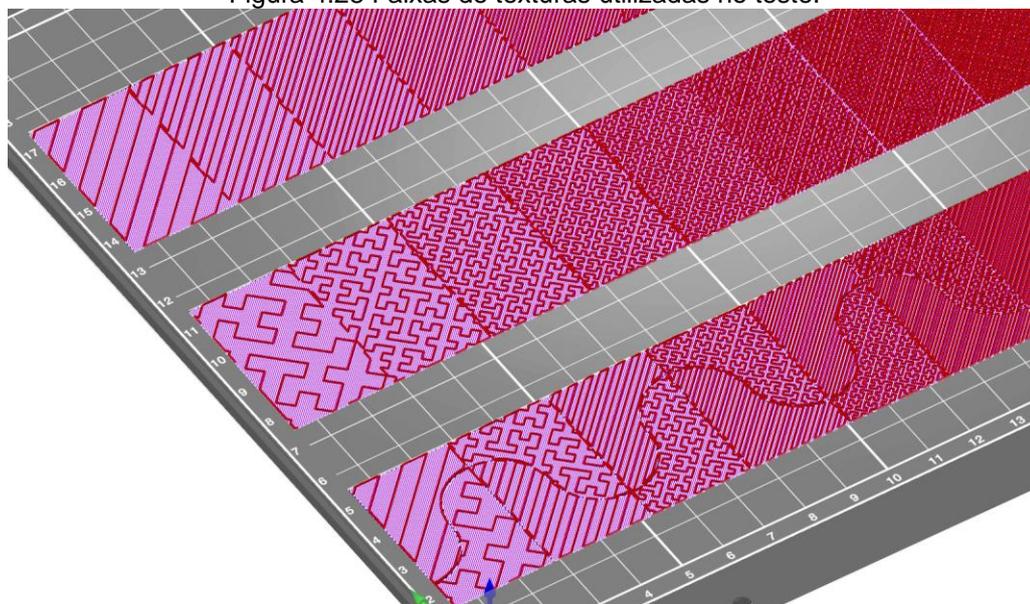
Cada faixa recebeu uma forma de textura diferente. Na primeira, foi utilizado a *Aligned Rectilinear*, que apresenta linhas paralelas em uma inclinação de 45°, por padrão. Na segunda faixa, foi utilizada a *Hilbert Curve*, a qual se espalha em um padrão fractálico semelhante a um labirinto. Esta escolha se deu pelo fato de que nem todos os padrões de *infill* permitirem a densidade 100%, apenas aqueles que também são utilizados no preenchimento de superfície superior/inferior, os quais, por outro lado, não aceitam outras porcentagens.

A terceira faixa apresentou uma configuração diferente. Nela, cada retângulo foi dividido em duas áreas, superior e inferior, por duas curvas concordantes ascendentes da esquerda para a direita. Na parte superior, foi colocada uma das texturas citadas acima, enquanto na parte inferior, foi colocada a outra. No retângulo vizinho, a curva de separação foi espelhada, e a posição das texturas invertida. Este espelhamento e inversão se repetiu até se chegar ao décimo retângulo. Com isto, se tinha não só a discriminação das diferentes densidades, como a do encontro entre diferentes formas de textura (Figura 4:28).

O conjunto foi impresso sobre uma folha retangular de papel sulfite 180 g/m² com 250 mm de largura por 200 mm de altura e o usuário foi convidado a localizar em que ponto ele deixava de perceber diferenças entre as superfícies. Para isto, o número de contornos (*perimeters*) de cada retângulo foi definido como zero para não desviar a atenção nos pontos de transição. Uma vez localizado, as duas densidades que delimitavam a não-mudança eram anotadas.

Para este teste, optou-se por manter a textura nas dimensões originais do preenchimento interno, 0,45 mm de largura, para que se alcançasse as densidades maiores sem impedimentos (choque com a linha adjacente). Neste caso, para reforçar a aderência, a camada sólida inferior foi mantida e determinada em 0,2 mm para que

Figura 4:28 Faixas de texturas utilizadas no teste.



Fonte: o autor

o *infill* se fundisse diretamente sobre o PLA desta camada, formando uma ligação capaz de suportar as passagens constantes de dedos e unhas nas apreciações dos voluntários durante a exploração e discriminação da textura. Acima dos 0,2 mm da base, a textura se erguia pelos 0,4 mm restantes. A Tabela 4:4 elenca esta e as demais configurações utilizadas no teste.

Tabela 4:4 Configurações da impressão do teste de discriminação tátil

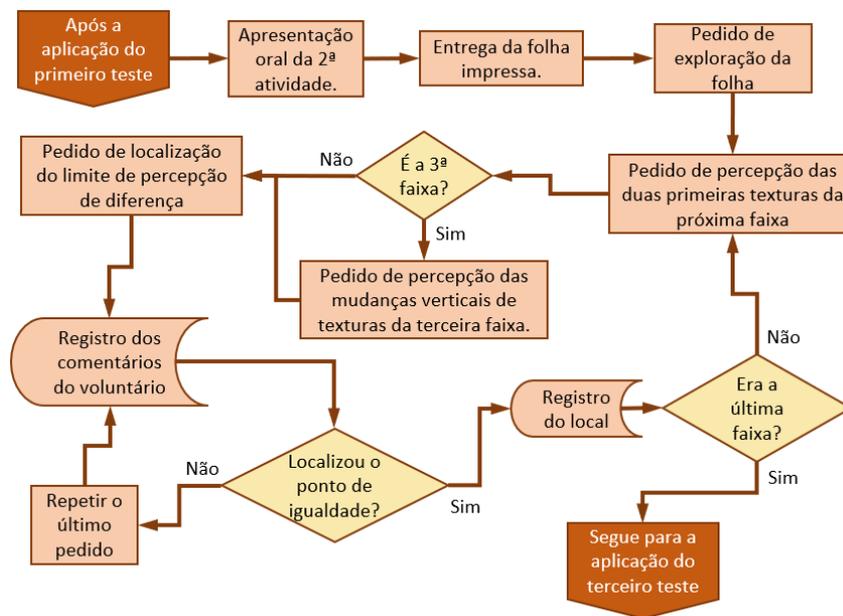
Parâmetro	Valor
Altura da camada (<i>layer height</i>)	0,2 mm
Altura da primeira camada (<i>first layer height</i>)	0,2 mm
Perímetros (<i>perimeters</i>)	0
Camadas sólidas superior (<i>solid layers top</i>)	0
Camadas sólidas inferior (<i>solid layers bottom</i>)	1
Preenchimento interno (<i>fill density</i>)	10% a 100%
Padrão de preenchimento interno (<i>fill pattern</i>)	<i>Aligned Rectilinear / Hilbert Curve</i>
Padrão da superfície da base (<i>bottom fill pattern</i>)	<i>Rectilinear</i>
Linhas da saia (<i>skirt loops</i>)	0
Compensação por dilatação térmica (<i>elephant foot compensation</i>)	0
Temperatura da mesa na primeira camada (<i>temperature – bed - first layer</i>)	70 °C
Temperatura da mesa nas outras camadas (<i>temperature – bed - other layers</i>)	70 °C
Altura inicial (<i>Z offset</i>)	0,2 mm

Fonte: o autor

Durante a aplicação, a folha e era entregue e a sua exploração era incentivada solicitando a identificação das três faixas de textura. Depois era indicado a percepção da primeira e segunda textura da primeira faixa, com sua variação de densidade. Só então era pedido que se localizasse o ponto de ausência de diferenças. Este procedimento era repetido para a segunda faixa. Na terceira, era acrescido o pedido para que explorassem os retângulos de textura também na vertical para a identificação da troca de texturas.

A aplicação deste segundo teste é apresentada no fluxograma da Figura 4:29.

Figura 4:29 Fluxograma da aplicação do segundo teste



Fonte: o autor

4.2.1.2.3 Compreensão espacial e da imagem

O último teste com os usuários trabalhou com imagens. Elas foram definidas a partir da listagem de 260 figuras de Snodgrass e Vanderwart (1980), apresentada a partir da página 46, sobre a qual foram aplicadas classificações e filtros para a seleção de quatro imagens para o experimento.

Como a atividade cerebral relativa ao reconhecimento de uma imagem visual está mais ligada à percepção da forma tátil quando os objetos são familiares (LACEY *et al.*, 2010) e que esta familiaridade é um dos critérios para a agilidade na localização de uma imagem em meio à memória (SNODGRASS; VANDERWART, 1980), as imagens do estudo visual mencionado foram classificadas pela nota de familiaridade que receberam.

Sobre esta classificação, foi realizada outra, em busca das menores notas de complexidade, para evitar que o acúmulo de linhas influenciasse o processo, uma vez que ela é capaz de inibir ou prejudicar a identificação, (ERIKSSON, 1999; SNODGRASS; VANDERWART, 1980; ZEBEHASY; WILTON, 2014). Esta dupla

classificação foi realizada pela geração de uma nova pontuação, a de seleção, resultante da subtração da nota de complexidade da nota de familiaridade.

A nova lista criada tinha o Sol, cabide, copo e a Lua entre seus primeiros itens. No caso dos usuários cegos, a familiaridade também recai sobre objetos que sejam acessíveis e que já tenham sido tocados, constituindo assim, o primeiro filtro para a seleção, seguindo as ideias previamente apresentadas no capítulo Identificação, na página 49, sobre experiência prévia com o objeto (ERIKSSON, 1999; HELLER, 1989a, b; MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016). Por este motivo, o Sol, elemento de maior familiaridade com nota 4,9, e a Lua, figura de menor complexidade, com nota 1,02, foram descartados.

O copo também foi descartado por ser representado em perspectiva (segundo filtro), algo que não é intuitivo quando se utiliza o tato no lugar da visão, ainda mais sem treinamento prévio para este tipo de informação, como tratado a partir da página 59.

Tabela 4:5 Tabela de seleção de imagens

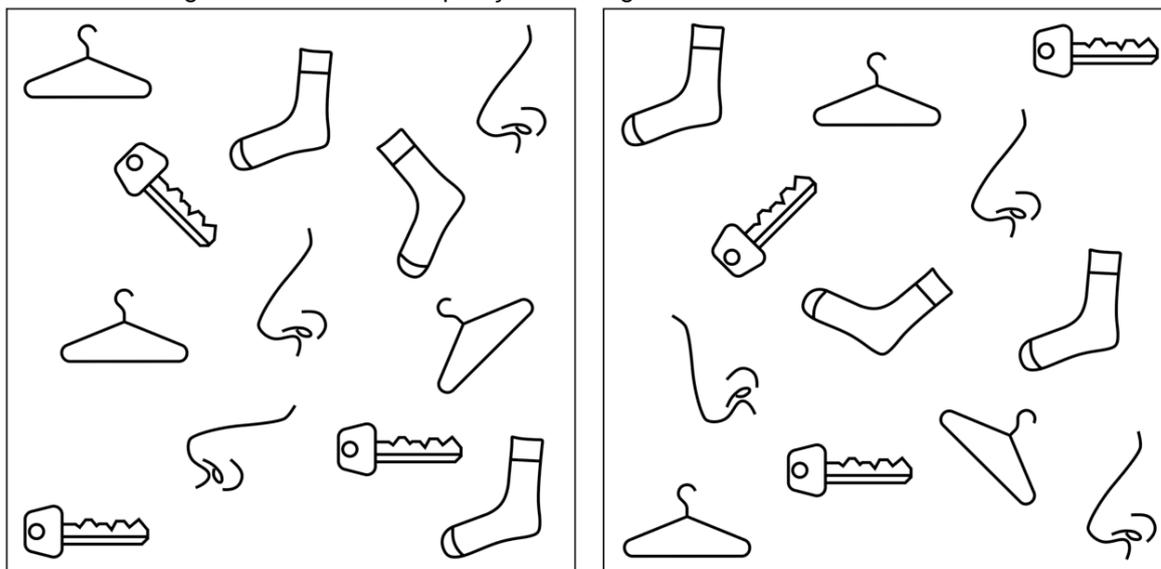
núm.	Imagem	Conceito	Familiaridade	Complexidade	Seleção	Redesenho
222		Sol	4,90	1,20	3,70	
116		Cabide	4,52	1,20	3,32	
104		Copo	4,78	1,82	2,96	
146		Lua	3,98	1,02	2,96	
128		Chave	4,85	1,92	2,93	
155		Nariz	4,52	1,60	2,92	
211		Meia	4,52	1,62	2,90	

Fonte: o autor, com dados da 1ª à 5ª coluna adaptados de Snodgrass e Vanderwart (1980)

Os objetos que assumiram o lugar e se uniram ao cabide foram chave, nariz e meia (Tabela 4:5). Os quatro foram redesenhados e as figuras foram posicionadas nos cantos de uma folha quadrada do papel com 200 mm de lado. Depois disto, foram feitas duas cópias de cada figura, as quais foram distribuídas pela folha aleatoriamente. Uma destas cópias, de cada figura, foi rotacionada em $\pm 45^\circ$. Assim, tinha-se por fim uma figura em cada canto e cópias delas, dentre as quais uma rotacionada, espalhadas pelos espaços intermediários.

O conjunto foi preparado para impressão nas oito combinações de larguras (0,8 mm e 1,2 mm), e de alturas (0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm). Como foram utilizadas quatro figuras, metade do número de configurações, também foram criadas duas distribuições de figuras para garantir a variabilidade das posições (Figura 4:30).

Figura 4:30 As duas disposições das figuras na folha utilizadas no teste.



Fonte: o autor

Neste teste, ao usuário era solicitado identificar a imagem, mediante dicas, e em seguida localizar as duas cópias, utilizando suas habilidades de identificação de figuras, exploração da folha, e noção espacial para os posicionamentos e orientações.

Para isto, a ordem de apresentação das folhas aos voluntários foi previamente aleatorizada para variar a combinação de largura, altura, figura a ser buscada e disposição delas pelo papel, de modo que eles recebessem todas as combinações de largura e altura possíveis e que, nas duas vezes em que cada figura aparecesse, não se repetissem nas mesmas configurações de impressão nem nas mesmas posições.

Tabela 4:6 Exemplo de ordem de aplicação do teste de percepção com figuras para um voluntário

Disposição	Largura	Altura	Objeto
1	12	4	cabide
1	8	1	nariz
2	12	3	meia
2	8	2	chave
2	12	1	nariz
1	8	3	chave
2	8	4	cabide
1	12	2	meia

Fonte: o autor

A Tabela 4:6 mostra um exemplo de ordenação de aplicação para um voluntário. Estes valores foram aleatorizados para cada um deles.

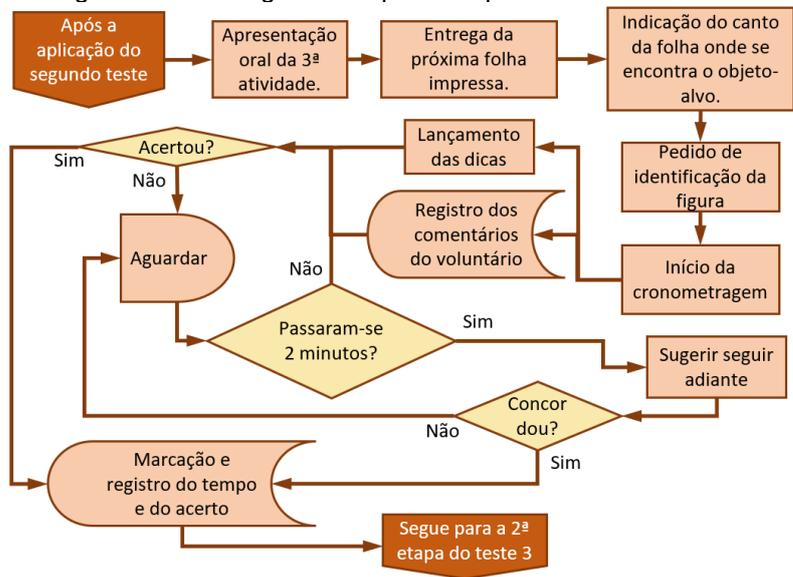
A aplicação deste último teste iniciava com a explicação de que o voluntário deveria identificar a imagem solicitada e então localizar as duas figuras semelhantes, e que o teste seria cronometrado. Assim que o papel era disposto na mesa, era indicado em qual canto da folha a imagem alvo da vez, dada pela ordenação aleatorizada prévia, se encontrava e, assim que ele a alcançava, a contagem do tempo se iniciava. Então eram dadas dicas para facilitar a identificação, seguindo a orientação de Heller (1989a).

No entanto, estas dicas não poderiam ser precisas como uma audiodescrição deve ser, para evitar a identificação através das dicas e não pela figura. Assim, para o nariz, não se poderia dizer algo como “órgão utilizado no olfato” ou “utilizado para sentir cheiro”, por exemplo. Da mesma forma, a meia não poderia ser “roupa que veste os pés”. Por isto, as dicas dadas foram:

- **Cabide:** objeto normalmente presente nos quartos. É utilizado com roupas.
- **Chave:** objeto de metal. Quando se sai de casa se leva ele.
- **Nariz:** órgão do corpo humano. Encontra-se na parte superior do corpo.
- **Meia:** peça do vestuário. Nem todos o utilizam.

A Figura 4:31 mostra o fluxograma desta primeira parte do teste. Quando havia o acerto, o tempo era registrado, bem como a ocorrência do sucesso e se

Figura 4:31 Fluxograma da primeira parte do terceiro teste



Fonte: o autor

passava à segunda atividade, a de procurar as cópias da imagem. Em caso contrário, se o voluntário desistisse de tentar descobrir a imagem, o tempo também era registrado, assim como a ocorrência do não-acerto, e então era convidado à segunda atividade. Se nenhum dos casos ocorresse, passados dois minutos havia o convite para a busca das cópias.

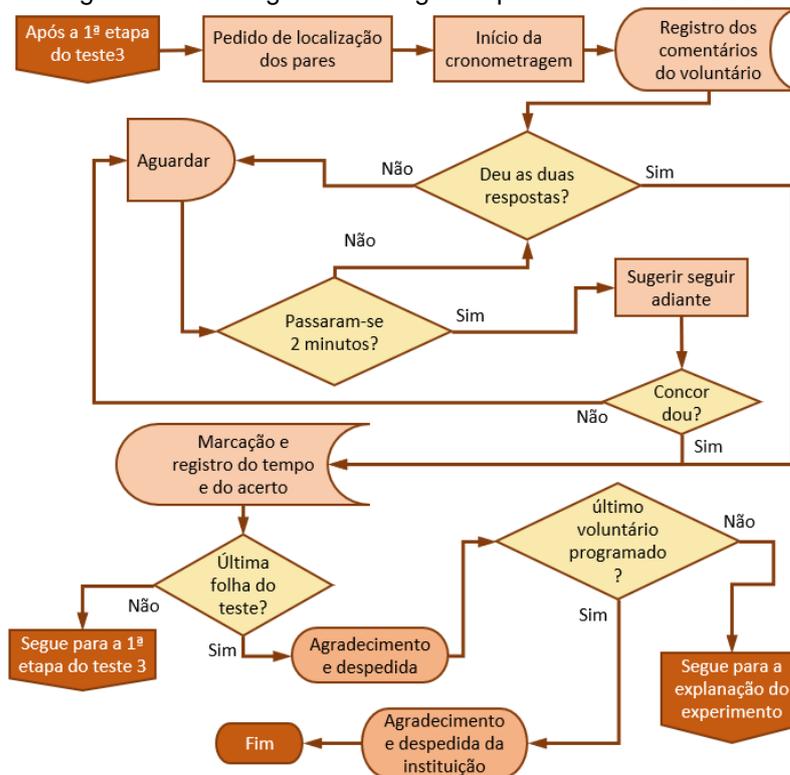
A cronometragem da localização das cópias era então iniciada e parada apenas depois da confirmação pelo voluntário das duas localizações das cópias, independentemente de estar correto.

Era incentivado o uso das duas mãos, conforme recomendação de Eriksson (1999), tanto na identificação das imagens quanto para se manter uma referência enquanto se comparava com as demais figuras espalhadas em busca das semelhanças.

Para todas as respostas definitivas dos voluntários, o aplicador respondia como estando correto, independentemente de estar ou não.

O teste era então repetido com a nova configuração até que se encerrassem as oito variações quando então o voluntário recebia os agradecimentos pela participação (Figura 4:32) e lhe era oferecido álcool para higienização das mãos.

Figura 4:32 Fluxograma da segunda parte do terceiro teste



Fonte: o autor

4.2.1.3 Análise dos dados

Os resultados coletados foram registrados em planilha e, como a pesquisa foi realizada com indivíduos, eles foram agrupados por voluntário, pareando-os e comparando as respostas segundo a percepção de cada pessoa. Desta maneira, a opinião do que seria melhor opção ou não respeita as diferenças individuais ao gerar os números finais. Assim, a opinião ou resultado de um teste sob a altura 0,1 mm, por exemplo, foi comparada com a opinião ou resultado deste mesmo voluntário sob a altura 0,2 mm e assim por diante.

Assim como no experimento anterior, os dados numéricos e sua dispersão foram expostos através dos quartis (25°, 50° e 75° percentis) por se tratar de dados não-paramétricos ou de pequena amostragem ($N \leq 50$).

Para a verificação da significância das diferenças em populações com distribuições não-paramétricas de frequência, com pareamento das variáveis, foi utilizado o teste estatístico de Wilcoxon (1945), quando a comparação se dava com

pares de variáveis, e o de Friedman (1937), utilizado quando a comparação era feita com mais de duas variáveis. Neste caso, foi acrescentado a técnica de pós-processamento (*post hoc*) de Conover (1980) para a identificação das diferenças e semelhanças caso a caso.

Para amostras não-paramétricas com variáveis independentes, foram utilizados os Mann-Whitney (1947) para análise de duplas de variáveis.

No caso de amostras paramétricas independentes, os testes utilizados foram o Teste T de Student (1908), para verificações em dupla de variáveis, e a técnica ANOVA (ST; WOLD, 1989), para números superiores de variáveis. Neste caso, com *post hoc* de Dunn (1961).

Com estes testes foi possível estabelecer se a relação entre os resultados entre as variáveis era de igualdade estatística ou de diferença significativa (TRIOLA, 2005).

4.2.2 Resultados

A pesquisa de percepção com voluntários foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFPE na primeira semana do estabelecimento da quarentena estabelecida em busca do controle da pandemia provocada pelo SARS-CoV-2¹², na segunda quinzena de março de 2020. Por este motivo, precisou ser adiada algumas vezes.

Em meados do segundo semestre de 2021, com a evolução da vacinação, as instituições começaram a ser contatadas no Recife, em Caruaru e em João Pessoa. Quase todas elas ainda se encontravam em quarentena, mantendo seus alunos e frequentadores em acesso remoto e por isto algumas não aceitaram participar da pesquisa e outras não chegaram a responder o contato.

Com adaptações nos testes, como o uso de álcool ao final dos testes e de aplicação com máscaras do tipo PFF2, a primeira visita aconteceu no início de outubro na ACACE (Associação Caruaruense de Cegos) e, por este mês, se seguiu pela ASSOBECECER (Associação Beneficente dos Cegos do Recife), APEC (Associação Pernambucana de Cegos), CAP (Centro de Apoio Pedagógico para Atendimento às

¹² O coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2, o qual provocou uma pandemia de alcance mundial iniciada no final de 2019 e atuante pelos anos seguintes.

Pessoas com Deficiência Visual de Pernambuco), e IFPE (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco).

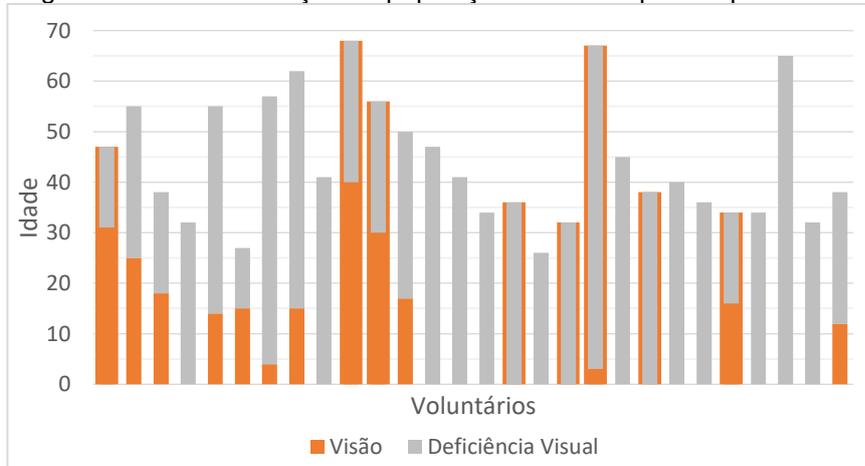
4.2.2.1 Caracterização do grupo de voluntários

Os testes foram aplicados com alunos, frequentadores e funcionários destas instituições citadas no tópico anterior, em uma a três visitas em cada um destes locais, captando as respostas, opiniões e comentários de um total de 28 voluntários com idades variando entre 26 e 68 anos, com mediana em 41 anos que se encaixaram na delimitação do público-alvo a que se destinava a pesquisa, apresentada no tópico 4.2.1.1 (na página 144).

Destes, 15 eram cegos congênitos (53,57%) e 13 (46,43%) perderam a capacidade de visão plena nos anos seguintes - um pouco mais da metade, 7 (25%), durante a adolescência e dois na infância (7,14%). Em apenas 8 dos 28 voluntários (28,57%) restou algum tipo de percepção visual, em geral, restrita ao discernimento de claridade e, conseqüentemente, de silhuetas pelo seu contraste. Somando-se os tempos de deficiência visual e dividindo pela soma das idades, tem-se que o grupo passou 80,54% da vida convivendo com a deficiência.

A Figura 4:33 resume estes dados ao apresentar em um gráfico de barras o tempo de visão de cada entrevistado em laranja, incluindo o tempo de vida com baixa visão: a pequena linha laranja que segue paralela à faixa cinza de deficiência visual.

Figura 4:33 Caracterização da população analisada por tempo de visão



Fonte: o autor

Em relação à escolaridade, o grupo de voluntários era composto por duas pessoas com ensino fundamental incompleto (7,14%), uma com ensino médio incompleto (3,57%), sete com o médio completo (25%), duas com o ensino superior em andamento (7,14%), onze com ensino superior completo (39,29%), quatro com especialização completa (14,29%) e uma pessoa estava cursando o mestrado (3,57%).

Uma pessoa informou que possuía uma doença que afetava sua discriminação tátil, no caso a diabetes. Outros dois também a reportaram, mas informaram que não havia alterado sua percepção.

Este voluntário com redução de percepção não conseguiu completar o teste de escaneamento, mesmo após várias tentativas com as quatro primeiras configurações do teste. Então optou-se por interromper e passar para o teste seguinte, o da discriminação tátil, para evitar a desmotivação do voluntário. O teste com texturas correu normalmente, mas a redução de percepção atrapalhou o teste de compreensão espacial e de figuras da mesma maneira que aconteceu com o primeiro teste. Os resultados destes dois testes foram retirados dos cálculos.

Outros três indivíduos (10,71%) apresentaram dificuldade semelhante na execução da ação de seguir a linha. Várias tentativas foram realizadas, mas todos se perdiam das linhas em trechos aleatórios de curvas fechadas ou quase retas. Assim, da mesma maneira, optou-se por seguir para o teste seguinte após a conclusão de metade das oito opções de configuração sem variação de comportamento. Os tempos neste teste foram desconsiderados dos cálculos também para estes indivíduos, mas os testes de discriminação tátil e de compreensão espacial e de figuras correram normalmente e foram computados.

Por este motivo, o primeiro e o último teste possuem amostragens menores, com 24 e 27 conjuntos válidos de respostas respectivamente, enquanto o segundo teste, o da discriminação tátil sobre a densidade das texturas, apresenta a amostragem válida na totalidade de voluntários, 28.

4.2.2.2 *Observações efetuadas durante a aplicação dos testes*

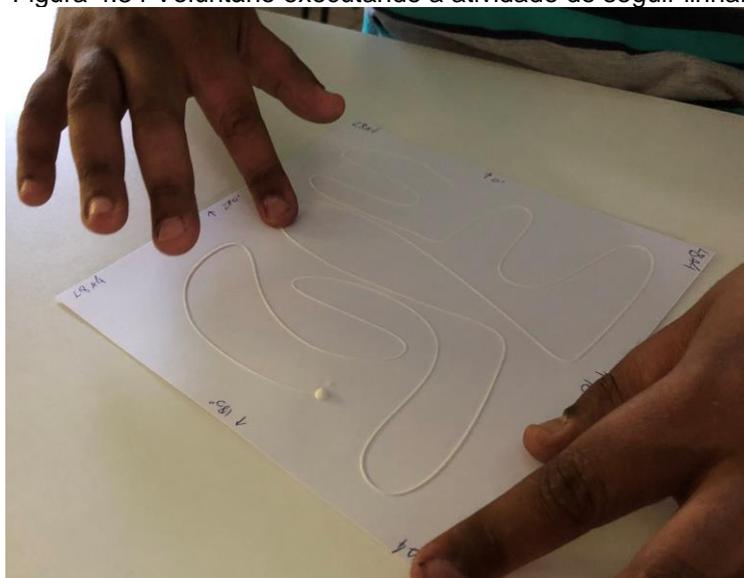
Durante as aplicações, foram feitas anotações informais a respeito do que foi comentado e citado pelos voluntários. Seguem estas observações.

4.2.2.2.1 Escaneamento

A Figura 4:34 mostra a atividade sendo realizada por um dos voluntários.

No primeiro teste, sete voluntários (25%) demoraram três vezes ou mais ao localizar a semiesfera pela primeira vez do que a média do seu próprio tempo para localizá-la nas vezes seguintes. Após a familiarização, os tempos deles caíram bastante já na segunda amostra do teste. Não houve variação perceptível como esta na atividade subsequente de seguir as linhas.

Figura 4:34 Voluntário executando a atividade de seguir linha.



Fonte: o autor

Ao seguir as linhas, alguns confundiram os seguimentos nos pontos onde elas se aproximavam e, continuando a seguir, chegavam de volta à semiesfera inicial, reiniciando a atividade sem reiniciar a medição do tempo.

Em relação aos três outros voluntários que não conseguiram completar a tarefa de seguir a linha, citados no tópico anterior, o que se ocorreu foi que em muitos momentos durante os trechos quase retos, em pontos aleatórios, deslocavam seus dedos perpendicularmente à linha, antes de qualquer desvio ou curvatura propriamente dita, não importando a configuração utilizada na sua impressão, e mantinham esta direção até que houvessem cruzado uma ou duas outras seções da linha, quando então tornavam a segui-la para repetir a perpendicularidade do movimento logo em seguida. Mesmo informados antes do teste e repetidamente

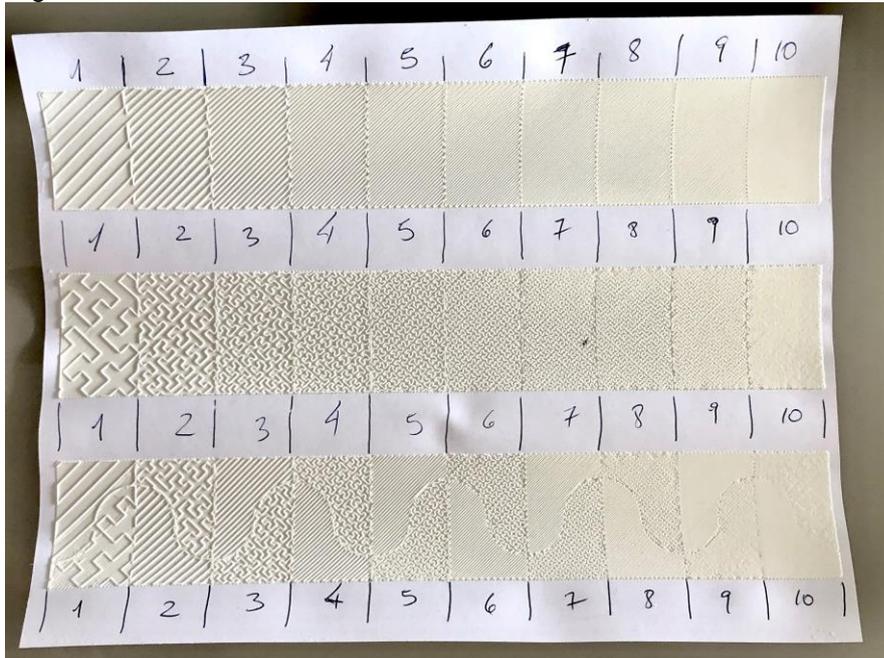
durante de que se não conseguissem acompanhar a linha deveriam retornar para o último ponto percebido, continuavam a fazê-lo.

Não se notou diferenças de desempenho com a rotação das folhas, mas um dos voluntários relatou que seguir uma linha horizontal é mais fácil do que quando ela se apresenta na vertical.

4.2.2.2.2 Discriminação tátil

A mudança na densidade da impressão dos preenchimentos que formaram as texturas dos retângulos gerou uma linha divisória no ponto de encontro das diferentes densidades. Mesmo não havendo linhas de contorno, muitos voluntários identificaram facilmente esta divisória, que pode ser percebida na Figura 4:35, e a utilizaram para delimitar a área a ser verificada.

Figura 4:35 Uma das folhas utilizadas no teste de densidades de texturas.



Fonte: o autor

Durante a checagem das texturas, alguns voluntários esfregaram-nas, outros usaram as unhas. Um destes informou que elas permitem uma precisão maior no tato. Todas as impressões resistiram às manipulações de todos os voluntários.

4.2.2.2.3 Compreensão espacial

Percebeu-se que alguns indivíduos não exploravam a folha em sua totalidade. Concentravam-se em pontos específicos. Depois de um tempo, expandiam a exploração e então rapidamente encontravam as cópias das imagens. Estes foram os resultados com maior tempo na tarefa de localização.

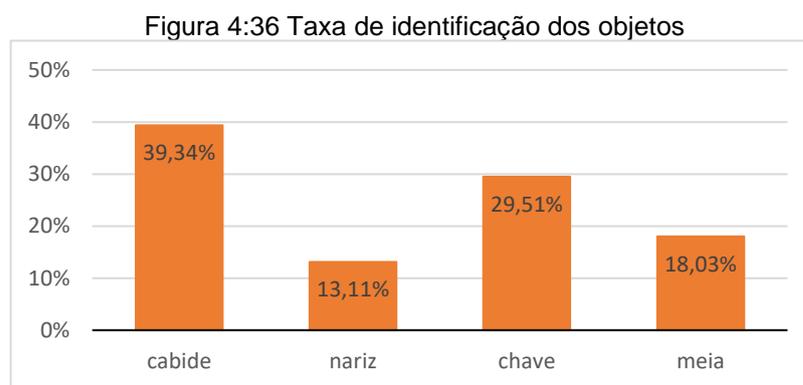
A rotação de 45° das imagens não afetou as detecções dos pares pois os próprios voluntários por vezes giravam as folhas propositadamente durante o processo em busca de uma posição mais confortável de leitura. Este giro não foi permitido apenas na atividade de acompanhamento das linhas.

Na busca das cópias, frequentemente se fixavam um elemento da figura e não toda ela e buscavam a ocorrência daquele elemento. Frequentemente foram usados o quadrado no alto da meia, o círculo na chave, a linha em direção ao alto no nariz e o gancho no cabide.

4.2.2.2.4 Compreensão da imagem

Na atividade de reconhecimento dos objetos o cabide foi o objeto mais reconhecido, 39,34% das vezes, seguido da chave (29,51%), com meia em terceiro lugar (18,03%). O nariz foi o objeto com menor número de identificações (13,11%)

Figura 4:36.



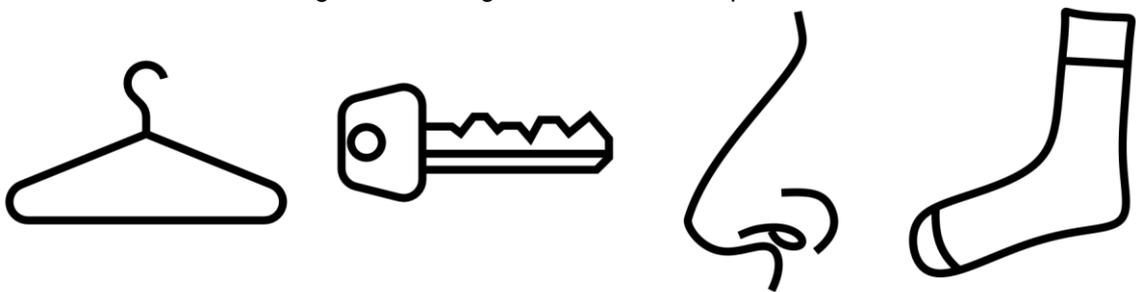
Fonte: o autor

Não houve discordância das formas do cabide, mas em relação à chave, alguns voluntários não concordaram com sua representação, esperando por uma versão com pega, haste longa e quadro na ponta contendo as variações para o

destrancamento da fechadura. Algo comumente encontrado em chaves antigas ou naquelas usadas em guarda-roupas. Um voluntário reclamou da alta complexidade da figura, enquanto outro elogiou a sua riqueza de detalhes.

A meia foi bastante comparada com botas, se diferenciando por não possuir cadarço. As formas no topo e na ponta dispersaram a identificação (Figura 4:37). Houve com certa frequência a citação de roupas íntimas e em um momento, citaram tratar-se de uma echarpe.

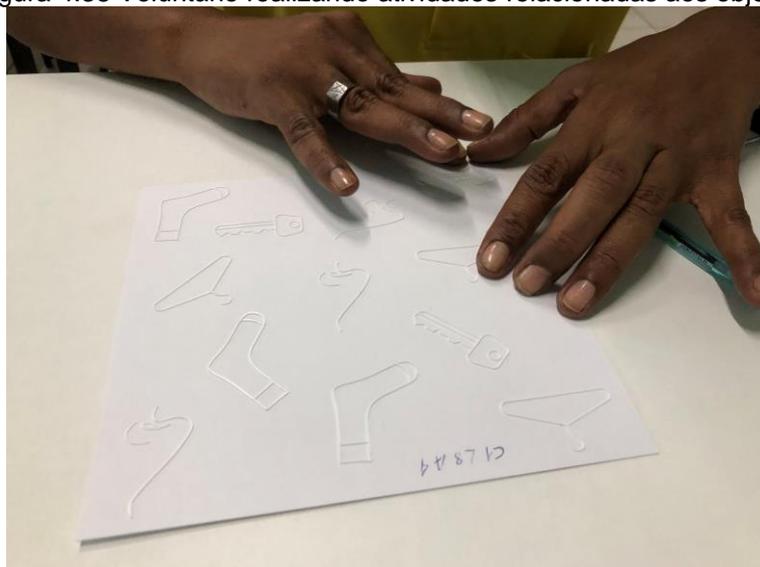
Figura 4:37 Imagens utilizadas no experimento



Fonte: o autor

O desenho do nariz de perfil foi a forma que gerou maior dificuldade e foi a menos reconhecida. Orelha foi a resposta mais escutada, seguida de ombros. A Figura 4:38 mostra um dos voluntários na execução deste teste.

Figura 4:38 Voluntário realizando atividades relacionadas aos objetos



Fonte: o autor

Alguns voluntários reclamaram das dicas, por serem muito genéricas para uma descrição, mas houve um deles que afirmou que reconheceu uma imagem pela dica, não pelos contornos percebidos.

4.2.2.2.5 Reações gerais dos voluntários

Variadas foram as reações dos voluntários e dos líderes das instituições. Em geral, os líderes deram completo apoio e demonstraram enorme interesse pela impressão tridimensional como tecnologia de fabricação e suas potencialidades. Em uma das visitas, enquanto se explicava a pesquisa, o interesse levou a uma explanação de algumas dezenas de minutos apenas sobre este processo de fabricação, seu funcionamento e possibilidades, antes de iniciarem os testes.

Em geral, a manufatura aditiva chamava bastante atenção também com os voluntários, fazendo com que se passasse a levar amostras de objetos tridimensionais para que eles pudessem perceber suas formas e camadas para entender melhor a fabricação e satisfazer a curiosidade que sempre vinha durante a explicação da pesquisa.

Embora alguns tenham se colocado de maneira um pouco apática, a reação da maioria dos voluntários era de diversão, de ser algo diferente das suas tarefas cotidianas. Alguns comentaram a contribuição que o teste de perseguição da linha poderia dar em atividades de coordenação motora e pediram para levar consigo as folhas utilizadas nos testes “para treinar em casa”.

Quando tomavam conhecimento de que algum colega havia feito o teste, não raro também se verificava um clima leve de competitividade, querendo saber seu tempo para compará-lo ao daquele colega, o que era gentilmente negado.

Este clima de diversão e competitividade comumente levava à verificação de uma forte persistência, principalmente na identificação das figuras: não queriam parar/desistir, mesmo passado o tempo definido para a tarefa, uma reação oposta ao cuidado que gerou a delimitação deste tempo: o de não gerar frustração.

Foram verificadas ainda algumas reações extremas como a voluntária que, ao sair da sala, pulou em alegria contando para amigos o que havia ocorrido, que havia sentido figuras e acertado o que representavam. Uma situação que estimulou os pesquisadores, mas que pelo seu aspecto inesperado, não pôde ser registrado.

Também houve um voluntário que, impressionado pela precisão dos elementos impressos, tirou uma chave do bolso para compará-la com aquela que estava desenhada, surpreso com a riqueza de detalhes.

Noutro momento, em uma conversa informal com um dos líderes, fora das aplicações dos testes, soube-se da dificuldade em se apresentar para uma pessoa cega de nascença, alguns conceitos visuais, como a bandeira do Brasil. Para a visita seguinte no mesmo local, foram criados e impressos dois modelos da bandeira em 0,4 mm de altura e 0,8 mm de largura (não se tinha os resultados dos testes na ocasião), um sobre papel sulfite de 180 g/m² e outro sobre papel vergê de 120 g/m². Eles foram levados e provocaram grande alegria. Eles foram apresentados pelo líder a todos os presentes ao longo do tempo em que os pesquisadores estiveram no local. Um dos frequentadores, após tatear o modelo comentou: “eu te dou minha TV se você me trazer um mapa mundi”.

Por outro lado, houve o relato por um dos voluntários de que pesquisadores costumam aparecer, coletar seus dados, consumindo o tempo dos voluntários, e então vão embora e não dão mais notícia ou *feedback* algum. Tal fato desestimula a participação.

Estas reações ajudaram a delinear uma ideia do quanto o conhecimento, vivência e experiência sobre representações gráficas tem espaço, potencial e impacto na vida das pessoas com deficiência visual. São reforçadas pelo depoimento de um dos líderes de instituição que enfatizou a carência de material didático nesta área. Lembrou a dificuldade de se ensinar partes do corpo e formas de animais. Esta carência, segundo ele, leva a um estado de “faz de conta” no ensino nas escolas às pessoas com deficiência visual, no qual se fingiria que o aluno aprendeu o conteúdo.

Por outro lado, esta mesma pessoa também citou o excesso de cuidados das famílias como outro entrave ao desenvolvimento do conhecimento e da independência das PDVs.

4.2.2.3 *Alturas impressas*

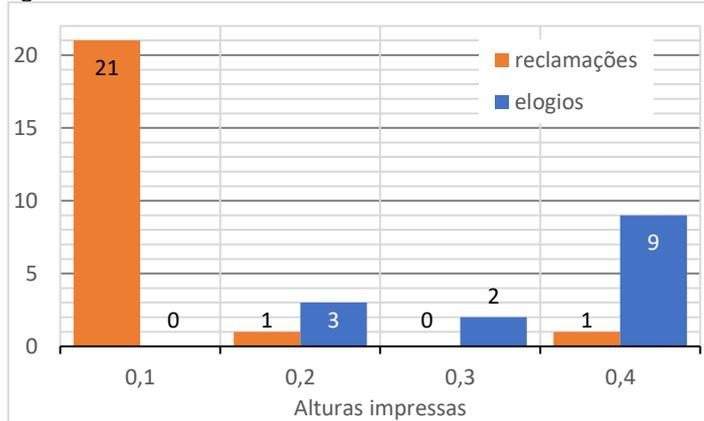
A diferença nas alturas foi a característica de fabricação mais percebida pelos voluntários durante os testes. Os comentários dos usuários, na grande maioria, focavam-se nas formas das linhas e figuras e no processo em si, porém, houve 38

comentários orientados às dimensões de impressão durante os três testes. 63,16% (23) destes eram reclamações e 36,84% (14), elogios.

Das reclamações, 91,3% ocorreram sob a altura de 0,1 mm, enquanto as demais alturas, 0,2 mm a 0,4 mm, receberam 4,35%, 0% e 4,35% respectivamente. Na reclamação da altura 0,4 mm, foi comentada a redução do contraste de alturas entre a semiesfera (3 mm) com a altura da linha. A reclamação à altura 0,2 mm veio após a aplicação de um teste com altura 0,4 mm.

Nos elogios, a ordem se apresenta invertida: nenhum para a altura de 0,1 mm, 21,43% para a altura de 0,2 mm, 14,29% para 0,3 mm e 64,29% para 0,4 mm (Figura 4:39). Destes elogios, 21,43% ocorreram na altura de impressão utilizada na amostra de teste entregue em seguida a uma outra que utilizou a altura 0,1 mm e 7,14%, após a altura 0,2 mm.

Figura 4:39 Comentários efetuados sobre as alturas de linhas

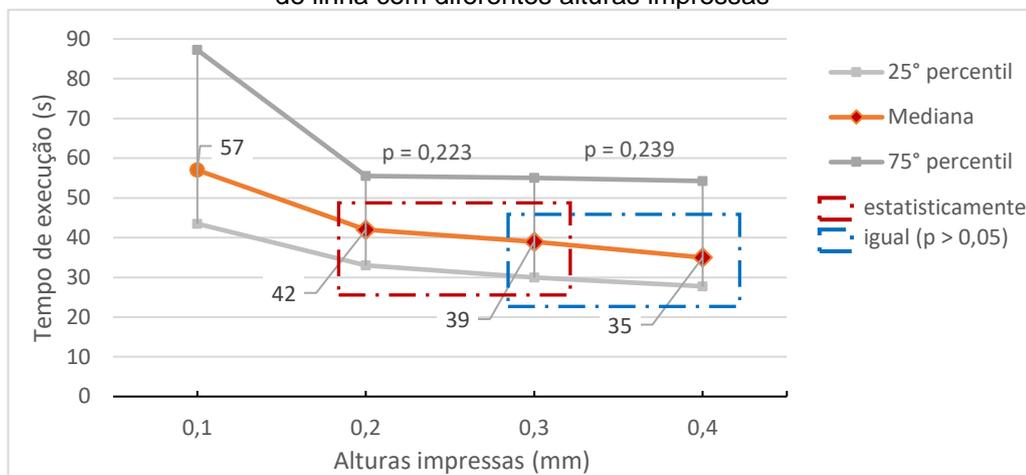


Fonte: o autor

4.2.2.3.1 Escaneamento

No primeiro teste, foram cronometradas 192 aplicações (oito aplicações em 24 voluntários respondentes). Delas, 43 amostras puderam pareadas para cada uma das quatro alturas por todos os usuários. O desempenho dos voluntários foi menor na altura de 0,1 mm em termos de tempo para completar a tarefa de seguir a linha até o final. Nas demais alturas, o tempo para completar a tarefa reduzia com o aumento da altura, mas em menor proporção. As medianas foram respectivamente 57 s, 42 s, 39 s e 35 s para as alturas de 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm (Figura 4:40).

Figura 4:40 Tempo dos voluntários no teste de acompanhamento de linha com diferentes alturas impressas



Fonte: o autor

A dispersão dos dados também foi maior nesta primeira altura, gerada pelas perdas de caminho e pelo esfregar dos dedos no mesmo ponto do papel para sentir melhor a linha. A distância entre o 25º e o 75º percentil passou de 43,75 s na altura de 0,1 mm para 22,5 s na 0,2, 25 s na 0,3 mm e 26,5 s sob 0,4 mm.

O teste de Shapiro-Wilk (1965) apontou se tratar de uma amostragem não-paramétrica ($p \leq 0,003$). A aplicação do teste de Friedman (1937) levou à indicação de que havia diferenças significativas entre os resultados ($p < 0,001$). Estas diferenças foram localizadas pelo teste *post hoc* de Conover (1980) pelo qual, os resultados da altura 0,1 mm se destacam dos das demais. Estatisticamente, não há diferenças significantes entre os resultados das alturas 0,2 mm e 0,3 mm ($p = 0,223$), nem entre 0,3 mm e 0,4 mm ($p = 0,239$).

4.2.2.3.2 Compreensão espacial

No terceiro teste, a tarefa de localização de imagens idênticas utilizando a compreensão espacial agrupou 216 respostas (oito testes por cada um dos 27 voluntários respondentes), totalizando 363 localizações de cópias de imagens.

Em 9,72% das situações, as cópias das imagens não foram encontradas. Em 12,5%, apenas uma das cópias foi achada, mas em 77,78%, ambas as imagens iguais foram localizadas.

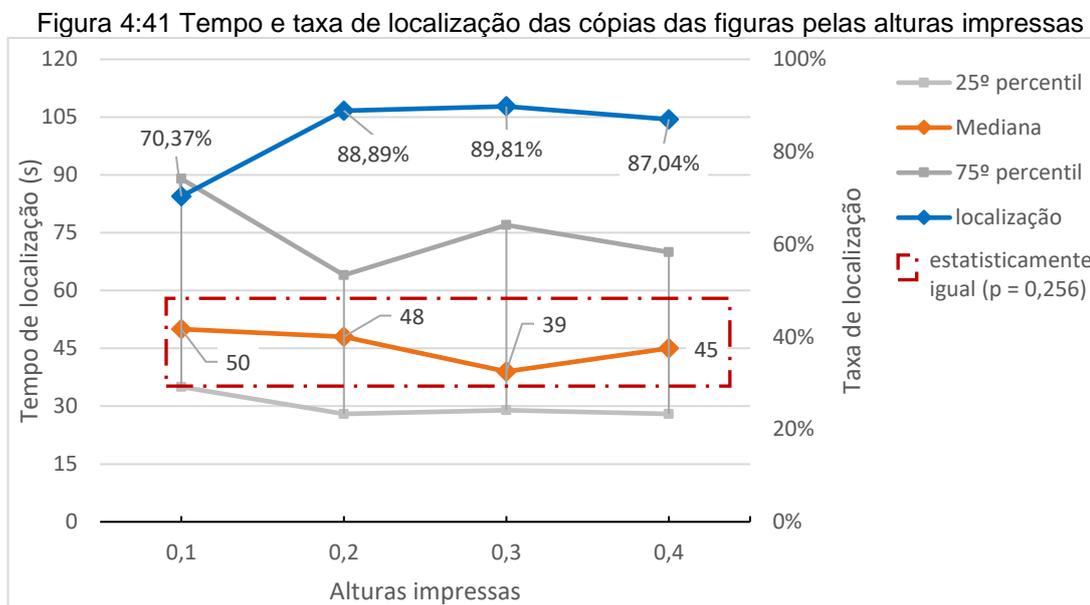
Em 11,11% dos testes efetuados com imagens impressas com altura de 0,1 mm, os pares não foram encontrados. Isto representa mais da metade (57,14%) das ocorrências sem localização. Nesta mesma condição de não localização, as alturas de 0,2 mm e 0,4 mm tiveram resultados idênticos: 3,7% das suas respectivas amostras. A altura de 0,3 mm apresentou o índice mais baixo de falhas na localização, com 0,93%.

As aplicações em que se localizou apenas uma das imagens idênticas pelo papel ocorreram em 7,41% das imagens impressas em 0,1 mm; em 3,7% das aplicações envolvendo figuras impressas em 0,2 mm; em 8,33% das de 0,3 mm e em 5,56% nas de 0,4 mm.

Para a localização das duas imagens, os resultados foram semelhantes entre si, exceto para a altura de 0,1 mm, sob a qual ocorreu em 62,96% das aplicações. Nas ocorrências de amostras impressas nas demais alturas, a localização de todos os elementos procurados ocorreu em 85,19% dos testes efetuados com altura 0,2 mm; e em 81,48% daqueles realizados tanto com impressão das imagens em 0,3 mm quanto em 0,4 mm de altura.

Somando todas as localizações, 70,37% das figuras quando impressas com altura 0,1 mm foram localizadas. Este número cresce para 85,19% quando somadas as ocorrências envolvendo as alturas 0,2 mm. Com 0,3 mm e 0,4 mm, a taxa de localização foi a mesma: 81,48% (Figura 4:41).

Considerando o tempo utilizado para a localização positiva de cada uma das imagens, os resultados ficaram mais próximos entre si. A maior mediana, 50 s, vem



Fonte: o autor

da menor altura impressa, 0,1 mm. A partir de então, tem-se uma apresentação decrescente entre a altura 0,2, 48 s, e 0,3, 39 s, quando a mediana do tempo utilizado na tarefa por cada identificação volta a crescer para a altura 0,4 mm: 45 segundos.

As dispersões foram maiores nas alturas 0,1 mm e 0,3 mm (distâncias de 54 s e 48 s entre o 1º e o 3º quartis) e menores nos testes com as alturas 0,2 mm e 0,4 mm (36 s e 42 s, respectivamente para estes quartis).

Com o teste de Shapiro-Wilk (1965) revelando se tratar de uma amostra não-paramétrica ($p < 0,001$), o teste de Friedman (1937) efetuado sobre as 172 identificações positivas, revelou que estes números não representam diferenças significantes entre os resultados de tempo de localização de pares nas diferentes alturas ($p = 256$) (Figura 4:41).

4.2.2.3.3 Compreensão da imagem

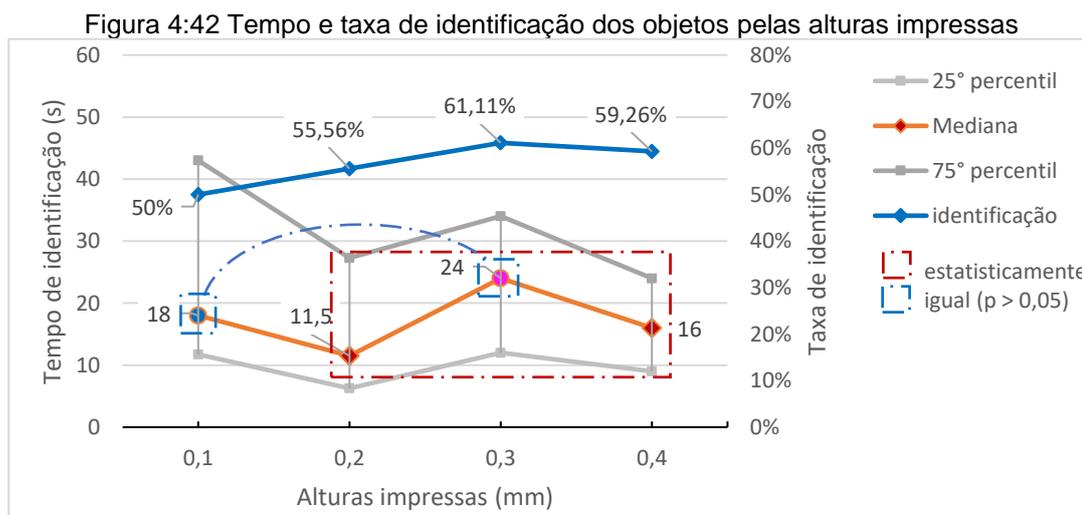
O outro ponto abordado pelo terceiro teste verificou a identificação dos objetos representados pelas imagens impressas após dicas terem sido dadas. Foram corretamente identificadas 56,48% das imagens. Como citado anteriormente (na

página 164), o cabide teve 39,34% do total, se considerando apenas as identificações. Foi seguido pela chave (29,51%), meia (18,03%) e nariz (13,11%).

Os resultados mostram que a taxa de identificação é menor do que a de localização de cópias pelo espaço em todas as alturas impressas, incluindo as situações nas quais a cópia era a de um objeto que não fora identificado. Em 0,1 mm de altura, apenas metade das imagens foi identificada. Este número cresce lentamente para 55,56% quando 0,2 mm é utilizada com as mesmas imagens, e para 61,11% quando se utiliza a altura de 0,3 mm na impressão, e reduz para 59,26% no uso da altura 0,4 mm (linha azul na Figura 4:42).

Os tempos de identificação dos objetos foi menor do que aqueles para explorar e localizar as suas cópias. Considerando a mediana, metade das tentativas levaram à identificação dos objetos em até 18 segundos utilizando a altura de 0,1 mm. Em 0,2 mm, o tempo mediano cai para 11,5 s. Com 0,3 mm de altura, a mediana sobe para 24 s e volta a descer para os 16 s na altura 0,4.

A dispersão foi inversamente proporcional ao crescimento da altura. Em 0,1 mm, os tempos variaram de 11,75 s a 43 s nos 1° e 3° quartis, uma variação de 31,25 s. Esta diferença segue decrescente para 21 s na altura de 0,2 mm, sobe um pouco para 22 s sob 0,3 mm e cai para 15 s quando impressos em altura 0,4 mm (Figura 4:42).



Fonte: o autor

Com o número reduzido de identificações positivas, a análise estatística do tempo empregado para identificar as imagens contou com apenas 40 amostras, dez

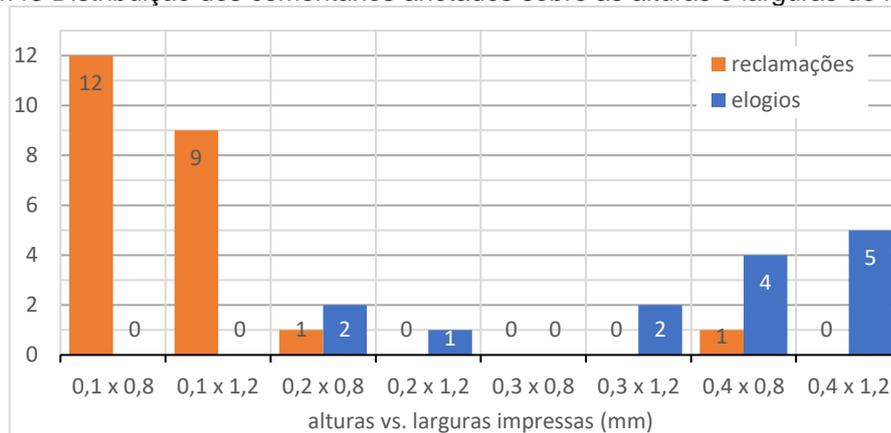
por altura. Como elas se mostraram em uma distribuição não-paramétrica no teste de Shapiro-Wilk (1965), foi utilizado o teste de Friedman (1937) para detectar as diferenças e estas foram discriminadas pelo *post hoc* de Conover (1980). Os resultados apontam que estatisticamente, as relações entre os resultados das alturas 0,1 mm e 0,3 mm e entre 0,2 mm e 0,4 mm são fortemente significantes ($p = 0,500$ e $p = 1,000$, respectivamente), mas também há uma pequena relação de significância entre as alturas 0,2 mm e 0,3 mm e entre 0,3 mm e 0,4 mm ($p = 0,099$ em ambas).

4.2.2.4 Larguras impressas

Ao contrário do que ocorreu com as alturas impressas, os 38 comentários citados na página 167 a princípio não pareciam direcionados às larguras no momento da aplicação dos testes. No entanto, cruzando as informações de altura com as de largura, é possível perceber que, sob uma mesma altura, as reclamações foram maiores em testes utilizando a largura de impressão 0,8 mm contra a de 1,2 mm, exceto na altura 0,3 mm, onde não houve reclamações.

Os elogios foram mais frequentes na largura de 1,2 mm quando ela se uniu às duas maiores alturas. Na altura 0,1 mm, eles não aconteceram e a de 0,2 mm recebeu mais elogios quando combinada à largura 0,8 mm (Figura 4:43).

Figura 4:43 Distribuição dos comentários anotados sobre as alturas e larguras de impressão



Fonte: o autor

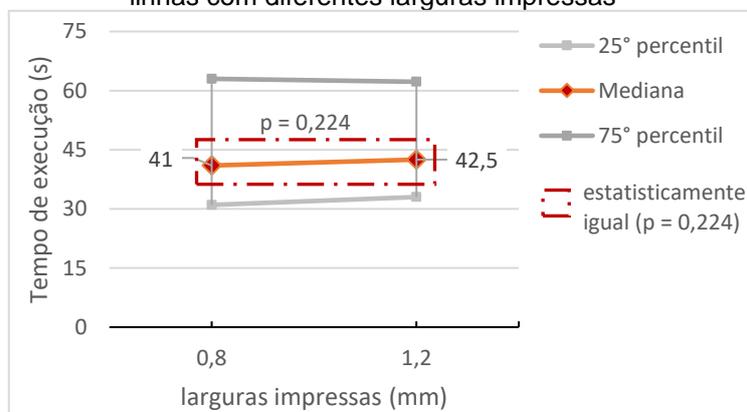
4.2.2.4.1 Escaneamento

Considerando as larguras, as 192 amostras (oito testes para cada um dos 24 voluntários) se dividem em dois grupos de 96 para cada dimensão neste teste de seguir a linha.

Houve uma proximidade dos resultados com ligeiro ganho de tempo para a altura 0,8 mm, na qual se obteve uma mediana de 41 s contra 42,5 s usando a largura 1,2 mm. Mas a dispersão dos resultados foi menor nesta segunda largura: diferença de 32 s entre o 1º e o 3º quartis dos resultados com a largura 0,8 mm contra 29,25 s de diferença entre os mesmos quartis na largura 1,2 mm (Figura 4:44).

O teste de Shapiro-Wilk (1965) resultou em uma amostra não-paramétrica, levando ao teste de Wilcoxon (1945) para duplas de variáveis pareadas. Chegou-se à conclusão de que esta diferença entre as amostras com 0,8 mm e as com 1,2 mm não é significativa (N = 192, $p = 0,224$).

Figura 4:44 Tempo dos voluntários no teste de acompanhamento de linhas com diferentes larguras impressas



Fonte: o autor

4.2.2.4.2 Compreensão espacial

No terceiro teste, as 216 respostas (oito testes para 27 voluntários respondentes) se dividiram em 108 para cada largura existente na busca pelas cópias das figuras.

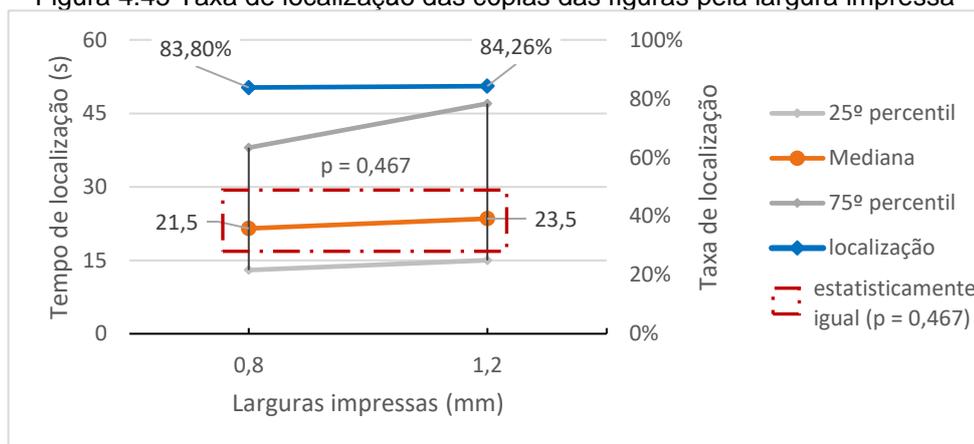
Deste número, 9,26% não foram encontradas quando impressas na largura 0,8 mm. Na largura 1,2 mm, o número sobe para 10,19%. Com 0,8 mm, os 90,74%

restantes se dividiram em 13,89% das ocorrências localizando apenas uma cópia e 76,85% localizando as duas. Na largura 1,2 mm, estes números passaram a 11,11% e 78,7%, respectivamente. O total de localizações de cada cópia chegou a 83,8% na altura 0,8 mm e 84,26% quando analisada a 1,2 mm.

Passando da taxa de localização das cópias para o tempo necessário para encontrá-las, verificou-se que ele foi mm pouco menor quando a largura 0,8 mm foi utilizada (21,5 s contra 23,5, em mediana). A dispersão também acompanhou a mesma posição revelando uma diferença de 25 s entre o 25º e o 75º percentis na largura 0,8 mm contra 32 s, na de 1,2 mm (Figura 4:45).

O teste de Shapiro-Wilk (1965) apresentou $p < 0,001$ para ambas as larguras e o teste de Wilcoxon (1945) efetuado sobre os tempos para localização positiva das cópias confirmou que estas pequenas diferenças não são estatisticamente significantes ($N = 194$, $p = 0,467$).

Figura 4:45 Taxa de localização das cópias das figuras pela largura impressa



Fonte: o autor

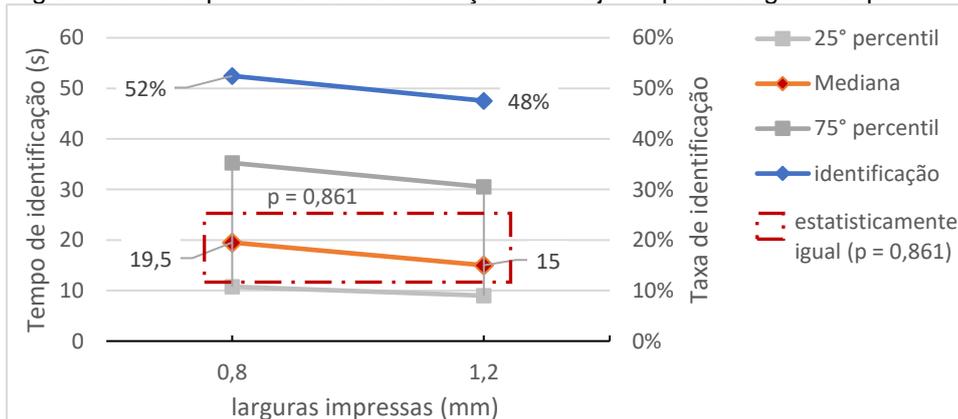
4.2.2.4.3 Compreensão da imagem

Considerando a parte do terceiro teste relativa às 216 tentativas de identificação dos objetos representados nas figuras impressas, como citado no tópico anterior, o sucesso ocorreu em apenas 56,48% das aplicações do teste. Foram 59,26% com a largura 0,8 mm e 53,7% com a largura de 1,2 mm.

Aquelas impressas com a segunda largura dos contornos das imagens, 1,2 mm, foram identificadas mais rapidamente. 50% dos 58 reconhecimentos se deram em até 15 segundos contra até 19,5 segundos na metade mais rápida das 64 identificações ocorridas sob a largura de 0,8 mm. A dispersão também foi menor nos testes envolvendo a largura 1,2 mm: 21,5 s separam o 25° percentil do 75°. Sob a largura de 0,8 mm, esta diferença foi próxima: 24,5 s (Figura 4:46).

O teste de Shapiro-Wilk (1965) determinou se tratar de uma amostragem não-paramétrica ($p < 0,001$). Com o não reconhecimento dos objetos ocorrendo em vários testes, apenas 56 pareamentos de amostras de tempo de identificação sob as mesmas configurações puderam ser agrupados na largura 0,8 mm e 52 na largura 1,2 mm para o teste de Wilcoxon (1945). Sua aplicação apontou que não há diferenças significantes entre os resultados dos tempos de reconhecimento ($p = 0,861$).

Figura 4:46 Tempo e taxa de identificação dos objetos pelas larguras impressas



Fonte: o autor

4.2.2.5 Densidade das texturas impressas

Neste teste, o segundo que foi aplicado com cada voluntário, totalizando 28 respostas para cada faixa de textura. Foi percebido que o uso de texturas diferentes no mesmo objeto ampliou a capacidade de discriminação.

Utilizando a textura A, o padrão *Aligned Rectilinear* composto por linhas paralelas a 45°, metade dos voluntários reportou sentir diferença entre duas densidades de preenchimento distantes entre si em 10% até que elas alcançassem a variação de 60%-70%. No entanto, com este formato, o 75° percentil apontou a relação de 90%-100%, ou seja, 25% dos voluntários foram capazes de distinguir todas

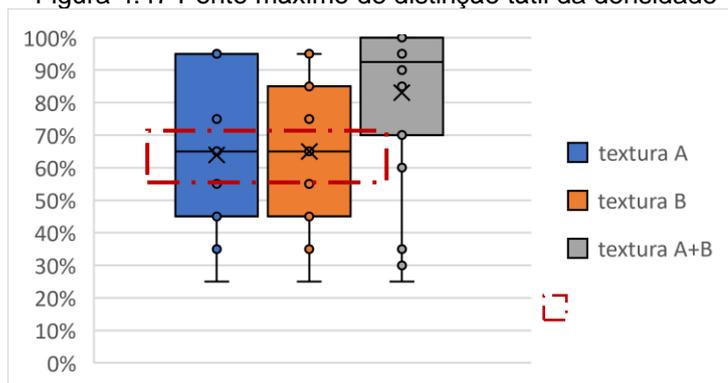
as variações entre os 10% e os 100% de preenchimento. Outros 25% eram capazes de distinguir até a diferença de 40%-50% das densidades (25° percentil).

Com a textura B, o padrão *Hilbert Curve* que apresenta um desenho que lembra um labirinto, os resultados mostram que o ponto mediano das respostas cai exatamente na mesma posição de transição de densidade do padrão anterior: 60%-70%. O 25° percentil também foi o mesmo: 40%-50%. Porém, as respostas foram um pouco mais concentradas em direção às altas densidades com 25% dos voluntários detectando as diferenças acima da transição dos 80% para os 90% (75° percentil).

Com as texturas combinadas na terceira faixa, a mediana da percepção de diferenças subiu para o ponto de transição entre as duas texturas em 90% e a transição 90%-100%. Dos resultados, 25% alcançaram a transição existente dentro do retângulo dividido em duas texturas de densidade 70% (25° percentil). Dentre as distinções mais apuradas, 25% apontaram a indiferença nas texturas no retângulo que continha as duas texturas em densidade 100% (Figura 4:47).

O teste de Friedman (1937) indicou diferenças entre os resultados ($N = 84$, $p = 0,011$), e o *post hoc* de Conover (1980) apontou que elas se concentravam na relação entre a terceira e as demais ($p = 0,011$), enquanto as duas primeiras texturas se mostraram resultados idênticos ($p = 1,000$).

Figura 4:47 Ponto máximo de distinção tátil da densidade



Fonte: o autor

4.2.2.6 *Outros resultados*

No início das aplicações, levantou-se a hipótese de que a visão residual, a escolaridade e a repetição de alguns elementos poderiam influenciar o tempo de execução das tarefas.

Para avaliar estas hipóteses, foram analisadas (1) a somas dos tempos de cada usuário para seguir as linhas, (2) a soma dos tempos necessários para cada voluntário identificar cada um dos objetos (considerados apenas os objetos corretamente identificados), e (3) a soma das médias dos tempos de um voluntário para identificar cada cópia das figuras. Média esta dada pelo tempo de cada busca dividido pelo número de cópias localizadas em cada teste de cada voluntário.

4.2.2.6.1 *Condição de visão*

No tempo para seguir a linha, a mediana da soma dos tempos dos voluntários com perda total da visão foi 10 s maior do que aquele dos voluntários de baixa visão, 372 s contra 362 s, uma diferença de 2,69%.

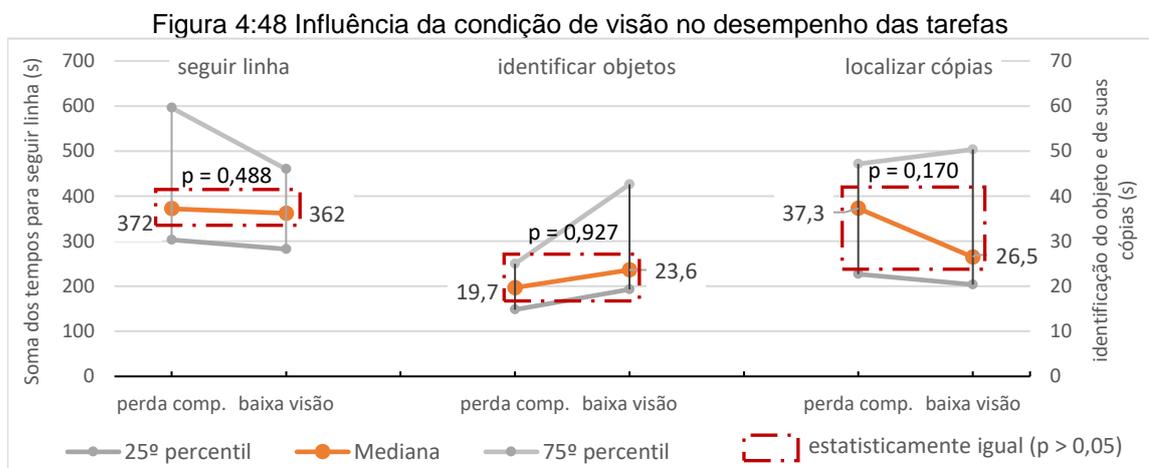
Os resultados se invertem no tempo para identificar os objetos, onde aqueles com perda completa da visão foram 16,61% mais rápidos (medianas de 19,7 s e 23,625 s).

No tempo para localizar as cópias das figuras, os voluntários de baixa visão foram mais rápidos apresentando uma mediana de 26,5 s na condição de visão bloqueada, enquanto aqueles que não tinham visão alguma mostraram uma mediana de 37,281 s para encontrar cada cópia (Figura 4:48).

Estatisticamente, não houve distinção no tempo de execução das tarefas entre as pessoas com perda total da visão e aqueles com baixa visão. Para chegar a esta conclusão, foi utilizado o teste de Student (1908) em cada tarefa após confirmar que cada uma delas apresentava uma distribuição normal.

Nas atividades de seguir linhas o teste reportou $p = 0,488$ ($N = 24$). Na de localização das cópias, uma proximidade muito alta: $p = 0,927$ ($N = 27$).

Ao analisar a atividade de identificação de objetos, o Jasp indicou uma

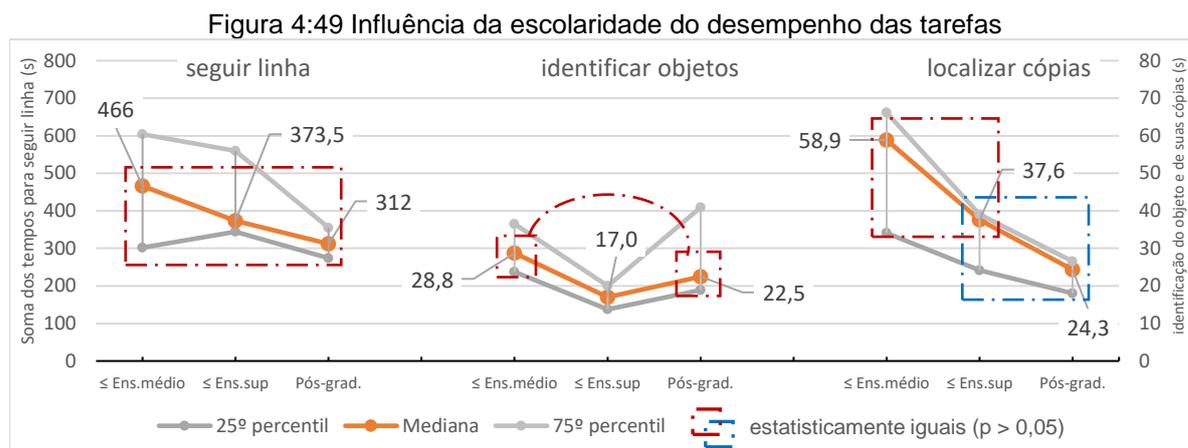


possível violação da suposição de igual variância utilizada neste teste, o que poderia tornar o resultado não confiável. A sugestão do próprio software foi de utilizar o teste de Welch (1947) em seu lugar, uma generalização do teste de Student para diferentes variâncias populacionais, o qual apresentou resultado $p = 0,170$ ($N = 25$).

4.2.2.6.2 Escolaridade

Para esta averiguação, as escolaridades agrupadas para evitar que o baixo N de algumas categorias, como ensino médio incompleto e mestrado, impedisse as análises. Por isto, ensino médio incompleto e completo foram reunidos na categoria “ \leq ensino médio”. Na categoria “ \leq ensino superior”, foram reunidos os voluntários que estavam cursando ou que haviam terminado esta etapa. Na última categoria, “pós-graduação”, foram agrupados aqueles com especialização, mestrado ou que estavam cursando estas formações.

No gráfico da Figura 4:49, vê-se como a mediana do tempo necessário para realizar as tarefas de seguir a linha e de identificar as cópias das figuras cai com o aumento da escolaridade, especialmente nesta última. Os quartis também se aproximam e o 75º percentil na atividade de encontrar os pares se mostra bastante próximo da mediana indicando uma menor dispersão dos resultados, principalmente nas maiores escolaridades.



Na atividade de identificar objetos, os voluntários com ensino superior ou que o estavam cursando foram os mais rápidos. Aí também se obteve os dados mais concentrados dos três grupos.

As três atividades seguiram distribuições paramétricas para as três verificações (SHAPIRO; WILK, 1965). Assim, foi aplicado uma ANOVA (ST; WOLD, 1989) para verificar os três grupos em cada atividade.

Nas atividades de seguir a linha, a escolaridade não influencia os resultados pois as diferenças não se mostraram significantes (N = 24, p = 0,289).

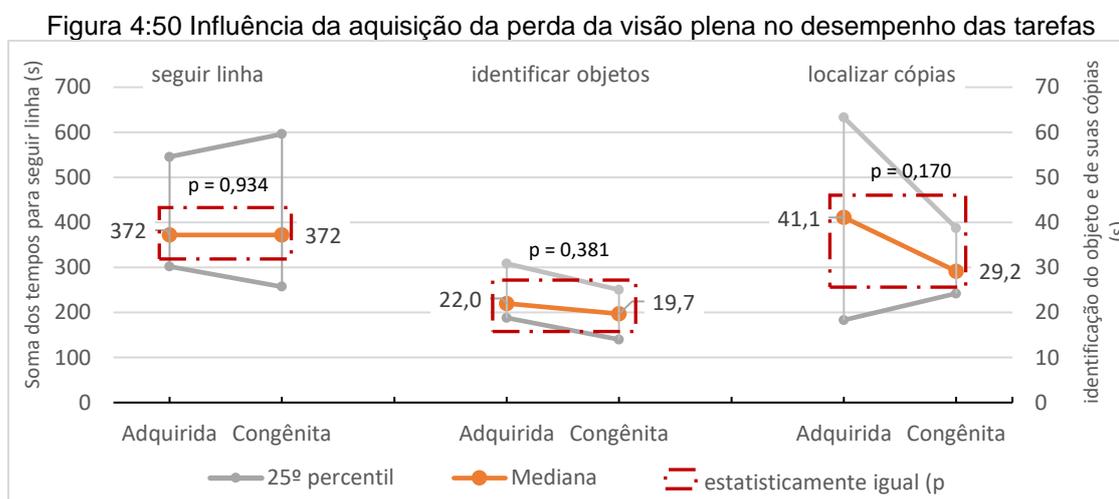
Na identificação de objetos (N = 25), o *post hoc* de Dunn (DUNN, 1961) mostra que ela interfere. Apesar de não haver diferença significativa entre os grupos “≤ ensino médio” e “pós-graduação” (p = 0,413), a velocidade do grupo “≤ ensino superior” o fez se destacar dos demais.

Ao localizar as cópias das figuras (N = 27), o grupo “pós-graduação” se igualou ao “≤ ensino superior” (p = 0,126), o qual se igualou ao “≤ ensino médio” (p = 0,095), mas a diferença entre “≤ ensino médio” e “pós-graduação” é significativa (p = 0,018).

4.2.2.6.3 Perda da visão

Categorizando e analisando as medianas do desempenho dos voluntários de acordo com o tempo de visão entre aqueles que nasceram cegos (cegueira congênita) e os que perderam a visão depois do nascimento (cegueira adquirida), o primeiro grupo foi mais rápido ao localizar as cópias das figuras (mediana 29,2 s contra 41,1 s), além de seus resultados terem o primeiro e terceiro quartis mais próximos.

Na identificação das imagens, os cegos congênitos apresentaram pequena vantagem (19,7 s vs. 22,0 s) e empataram na atividade de seguimentos de linhas (Figura 4:50).



Porém, estatisticamente nenhum destes resultados apresentou diferenças significantes. Seguir linhas e localizar cópias se mostraram como distribuições normais levando a checagem feita pelo teste de Student (1908): $N = 24$, $p = 0,934$ para a primeira atividade.

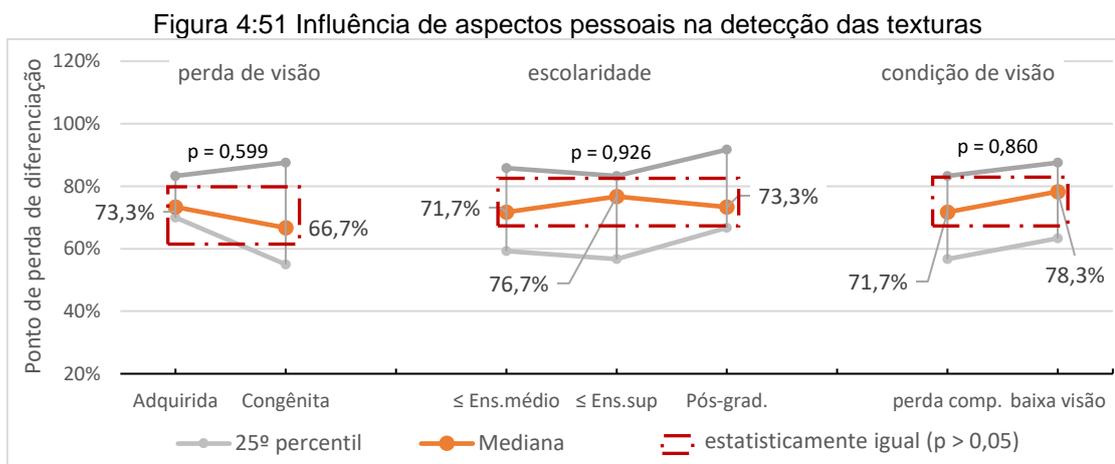
Assim como ocorreu na avaliação da Condição de visão, na localização das cópias o Jasp também indicou uma possível violação da suposição de igual variância, levando ao teste de Wetch (1947) que apresentou resultado $p = 0,170$ ($N = 27$).

A distribuição não-paramétrica dos agrupamentos dos resultados do teste identificação dos objetos com a condição de perda da visão levou ao teste de Mann-Whitney (1947) com resultado $p = 0,341$ ($N = 25$).

4.2.2.6.4 Texturas

A percepção das diferenciações das texturas não variou com a condição de visão, nem com a escolaridade nem com o tempo de perda de visão (Figura 4:51).

Aqueles que nasceram sem a visão indicaram um limite menor de percepção da diferenciação (porém com maior variação de resultados) do que aqueles que perderam a visão depois (mediana 66,7% contra 73,3%).



Fonte: o autor

Na escolaridade, aqueles com ou no ensino superior indicaram um limite maior de percepção das diferenças do que os dois outros grupos (medianas 76,7% contra 73,3% dos com ou na pós-graduação e 71,7% daqueles com escolaridade até o ensino médio), assim como os voluntários com baixa visão em relação aos de perda completa (mediana 78,3% contra 71,7%).

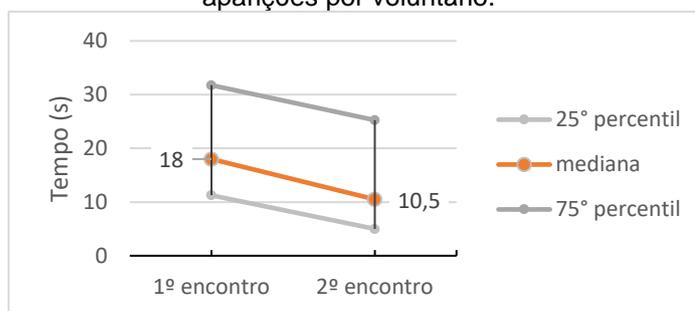
Porém, analisando com o teste de Student (1908), para a primeira e para a última categoria, e ANOVA (ST; WOLD, 1989) com *post hoc* de Dunn (1961) para a escolaridade, visto que todos eles apresentaram distribuições paramétricas de frequência, nenhuma destas diferenças é estatisticamente significativa: $N = 28$, $p = 0,599$ para o momento da perda da visão; $N = 28$, $p = 0,926$ para a escolaridade; e $N = 28$, $p = 0,860$ para a quantidade de visão.

4.2.2.6.5 Repetição das formas

Os tempos de identificação das figuras foram separados entre aqueles contados no primeiro encontro do voluntário com o objeto, e comparado com quando o mesmo voluntário reencontrou o mesmo objeto, depois de passar por identificações de outras formas e de busca daquelas outras cópias.

Percebe-se que houve queda no tempo necessário para assimilar o objeto da primeira para a segunda vez que a forma foi encontrada. A mediana caiu de 18 s para 10,5 segundos, uma redução para 55,55% do tempo (Figura 4:52). O teste de Wilcoxon (1945) confirma como uma diferença significativa ($N = 122$; $p < 0,001$).

Figura 4:52 Diferença de tempo para identificar os objetos as suas duas aparições por voluntário.



Fonte: o autor

4.2.3 Conclusões

A diferença nas alturas impressas das linhas foi facilmente percebida pelos voluntários, os quais apresentaram melhores desempenhos quando utilizando as linhas construídas com as maiores alturas, 0,2, mm 0,3 mm e 0,4 mm.

A diferença nas larguras de linha utilizadas, 0,8 mm e 1,2 mm, não representaram influência significativa.

As texturas testadas, *Aligned Rectilinear* e *Hilbert Curve*, geraram o mesmo nível de discriminação tátil quando utilizadas sozinhas. Porém, em combinação na mesma peça, a capacidade de distinção pelos voluntários quase dobrou.

Pessoas tardiamente cegas obtiveram o mesmo desempenho das pessoas cegas de nascença. A mesma relação existe entre pessoas de baixa visão e aquelas com perda total da visão.

A escolaridade afetou as atividades de identificação de objetos, quando aqueles com nível superior foram mais rápidos do que os que tinham até ensino médio e os que possuíam ou estavam em pós-graduações. Na localização de cópias também houve distinção e a melhoria dos tempos da atividade seguiu o grau de instrução.

Neste capítulo foram apresentados os experimentos derivados das escolhas provenientes dos dados dos experimentos anteriores, relativo à fabricação, bem como os números resultantes do contato deles com os voluntários. Estes dados serão comparados com os de outros pesquisadores, e servirão de guia para as considerações e conclusões apresentadas nas próximas seções.

5 *Discussão*

Este capítulo comenta os resultados e compara com os dados localizados anteriormente na literatura.

Ele se divide em quatro subtópicos: (1) os materiais como base de impressão; (2) as alturas e larguras, configurações mais importantes para as linhas de contorno; (3) os ângulos, formas e superfícies de preenchimento e (4) as observações notadas durante as aplicações em relação às habilidades de uso dos conteúdos táteis.

5.1 Materiais

Ter uma base constituída de outro material e não fabricada pela manufatura aditiva durante a produção da ilustração tátil traz as vantagens de uma grande economia de custos com tempo, material e eletricidade.

A Tabela 5:1 mostra a diferença de consumo de material e de tempo se a produção dos materiais utilizados nos experimentos apresentados possuírem uma base de 1 mm de altura, espessura mínima para uma resistência considerável à manipulação (FLORIO; ARAÚJO; SEGALL, 2008).

Por ela, uma única peça produzida pode ter seu tempo de produção reduzido de 73,01% a 97,87% apenas pela retirada da base. Nos materiais, o consumo pode ser reduzido de 87% a 98,88%. Quanto menor a quantidade de informação na superfície, maior a influência da base sobre o resultado. Assim, considerando que muitas das imagens táteis são definidas apenas por linhas de contorno, é importante buscar uma estratégia mais eficiente.

Na busca de formas mais eficientes, a estratégia testada foi utilizar outros materiais, já prontos, como base. Nesta escolha dos materiais, orientada pela metodologia mostrada no capítulo 4.1.1, a partir da página 110, aqueles baseados em celulose em geral se apresentaram como escolhas mais fáceis pois seus nomes definem um conjunto próprio de características a serem esperadas. Ao contrário, os polímeros sintéticos não são sempre conhecidos pelo seu material base. Muitas vezes

Tabela 5:1 Comparação de consumo na impressão de uma base

		Sem base	Com base	Economia média
Tempo	Aderência	2 a 11 min.	81 a 90 min.	92,65%
	Ângulos	14 min.	253 min.	94,47%
	Sup. Formas	20 min.	134 min.	85,07%
	Curvas	4 a 9 min.	298 a 309 min	97,87%
	Texturas	112 min	415 min	73,01%
	Figuras	3 a 12 min	304 a 320 min	97,63%
Material	Aderência	0,07 g a 0,81 g	9,04 g a 9,78 g	95,47%
	Ângulos	0,89 g	29,33 g	96,97%
	Sup. Formas	2 g	15,38 g	87%
	Curvas	0,22 a 0,84 g	46,3 a 47,43 g	98,88%
	Texturas	13,64 g	74,38 g	87,66%
	Figuras	0,21 a 0,92 g	46,47 a 47,76 g	98,81%

Fonte: o autor

são difundidos e vendidos pelo nome que o fabricante deu ou por outro nome que os vendedores usam localmente.

Assim, no comércio local, localizar um papel sulfite é mais fácil do que uma chapa de polietileno ou um tecido de polipropileno, a não ser que se saiba previamente por quais nomes é conhecido localmente e, assim, poder antecipar os comportamentos que aquele material apresentará durante a impressão, já no momento da sua aquisição.

Porém, nestes comportamentos residem outros problemas dos polímeros sintéticos. Alguns dos mais populares possuem baixos pontos de fusão e alta estabilidade química, o que os faz, respectivamente, derreter com a proximidade do bico de impressão (a mais de 200 °C) e não se aderir facilmente a outros materiais. Tais fatos ocorreram nos testes mostrados no capítulo 4.1.3.2, a partir da página 124, no qual se relata as falhas provocadas pelo derretimento do polietileno e do polivinilclorido, a dificuldade de aderência à resina de polipropileno, e ambos os fenômenos, registrados em forma mais amena, no etil vinil acetato, casos semelhantes aos reportados por Sanatgar, Campagne e Nierstrasz (2017).

Esta pesquisa não pode afirmar que todos os polímeros sintéticos não funcionarão ou terão rendimento pior do que os materiais a base de celulose, porém, pela experiência descrita nos resultados com materiais financeiramente acessíveis, o processo de produção pode ser mais previsível e controlável quando utilizando materiais derivados das fibras de celulose, especialmente quando as fibras interagem firmemente com o material impresso, como aconteceu com a parte escura do papelão pinho, fornecendo uma aderência ao levar a interação para olhos nus (Figura 4:11 e Figura 4:12, nas páginas 128 e 129), além daquela microscópica observável apenas no nível molecular (Figura 3:26, página 100), apresentada por Turner, Strong e Gold (2014).

Por outro lado, ter um material à base de celulose não é garantia de uma boa aderência. Percebeu-se pelo menos dois fatores que levam a variar os resultados sobre este tipo de material: (a) a espessura do material, cujo valor é inverso à aderência por isolar o objeto impresso da temperatura da mesa, a qual aumenta a infiltração do filamento derretido ao material da base, quando acima da temperatura da transição vítrea do polímero (SANATGAR; CAMPAGNE; NIERSTRASZ, 2017); e (b) a aderência entre as camadas do material base, a qual, podem fazer o material se descolar mesmo que haja uma boa aderência ao filamento depositado.

Quanto à espessura da chapa do material, além do isolamento térmico, que pode ser contornado aumentando a temperatura da base, maiores espessuras podem também dificultar o processo de fabricação, tanto na fixação do material à mesa quanto na automação do processo, precisamente na movimentação do bico impressor, requerendo uma maior interferência humana na produção.

Por outro lado, viu-se que espessuras de materiais menores que 0,7 mm levaram ao curvamento posterior das folhas pela diferença de contração durante o resfriamento entre o material impresso e o material base. Esta curvatura pode ser reduzida empregando forças contrárias à peça durante seu resfriamento, porém, em materiais com espessura igual ou acima de 0,2 mm não ameaçou a aderência, pois a intensidade do efeito de curvamento se mostrou reduzida.

Adicionalmente, se percebeu o efeito de enrugamento do material base que cria, ao redor do elemento impresso, uma textura em proporções que podem atrapalhar a percepção tátil. Este efeito é proporcional à área impressa atingindo principalmente espessuras abaixo dos 0,2 mm, quando o fenômeno passa a afetar

também desenhos constituídos apenas por linhas de contorno, como ocorreu no papel sulfite de 75 g/m² (Figura 4:6, Figura 4:7, Figura 4:8 e Figura 4:9, nas páginas 124, 125, 126 e 126, respectivamente), o qual, apesar de ter se destacado nos testes de aderência, passa a não ser muito indicado dada esta característica.

Estes valores são baseados nos materiais testados. É possível que outros valores entre 0,2 mm e 0,7 mm ou outras estruturas físicas de materiais possam reduzir ou restringir o curvamento. Da mesma maneira, dimensões entre 0,1 mm e 0,2 mm em relação ao enrugamento.

Em relação à aderência das camadas do próprio material base, percebeu-se durante os testes que a facilidade de remoção de uma fita adesiva retirada do material candidato e a espessura (não a quantidade) do material que vem aderido à fita neste ato podem ser indicadores da eficácia da aderência entre estas camadas e entre o material base e o impresso. Quando a fita descolou sem muito esforço (como no EVA) ou quando ela trouxe uma camada relativamente espessa do material (no lado claro do papelão pinho, por exemplo), houve a coincidência de baixa aderência do material. Mas trata-se de uma observação não comprovada. Testes sistemáticos são necessários para gerar uma afirmação mais segura.

Outras vantagens dos materiais à base de celulose são a sua facilidade de reutilização e de reciclagem, algo que não pode ser desconsiderado atualmente, além de permitir anotações com qualquer caneta ou lápis sobre o material impresso (como exemplos, a Figura 4:34 na página 162, e a Figura 4:35 na página 163), o que permite que se possa, por exemplo, ser impresso com uma impressora à base de tinta e então receber a impressão 3D, gerando um material híbrido para o público com ou sem deficiência visual.

Assim, dentre os materiais que foram localizados obedecendo os critérios de preço, o que obtiveram os melhores resultados de aderência foram o lado escuro do papelão pinho, o papel vergê de 120 g/m² e o papel sulfite de 180 g/m². O lado escuro do papelão pinho se mostrou como uma boa alternativa para pranchas mais rígidas e talvez esteja aí seu melhor uso. O vergê de 120 g/m² exibiu o segundo bons resultados de aderência com enrugamento mais leve do que o sulfite de 75 g/m². E o sulfite de 180 g/m², pela sua ausência de texturas, é uma boa opção para destaque da informação impressa, especialmente se forem utilizadas baixas alturas de impressão.

Comprovando estas afirmações, as impressões utilizadas nos testes com voluntários, em papel sulfite de 180 g/m² suportaram a manipulação dos 28 testes realizados e o transporte dos elementos entre as instituições, mesmo estando no segundo grupo de melhores aderências.

O único descolamento que houve ocorreu em uma dobra accidental com vinco de uma das folhas cruzando o local onde se encontrava uma figura, algo que foi facilmente concertado imprimindo apenas aquela figura, com as mesmas características, no mesmo espaço em que ela se encontrava anteriormente.

Isto leva indicação de que um papel sulfite com gramatura maior do que 120 g/m² e menor do que 180 g/m² possa ser o mais indicado ao uso por combinar a aderência de um menor isolamento térmico com a rigidez da gramatura e a ausência de textura do material.

5.2 Altura e largura dos contornos impressos

Como quase sempre as figuras são definidas pelos seus contornos (ERIKSSON, 1999), agrupam-se neste tópico as características com maior impacto na percepção das informações.

5.2.1 Alturas

Baixas alturas (0,1 mm a 0,3 mm) utilizam a aderência e a flexibilidade do material do filamento impresso e não encontram obstáculos nos baixos torques perpendiculares empregados durante a manipulação pelas pessoas, tanto da folha quanto da informação tátil.

Quando esta altura aumenta, no entanto, cria uma resistência à mudança de forma. Esta resistência à mudança leva ao desprendimento do corpo impresso da folha base. Estima-se também a altura de elemento possa funcionar como alavanca sobre linhas de contorno, gerando torção e descolamento durante a manipulação da informação tátil, mas este fenômeno não foi estudado aqui.

O que se apresentou foi que, quando a altura passa dos 0,4 mm há uma perda na confiabilidade na aderência do elemento impresso, representada pela rápida

dispersão dos resultados obtidos. Entre os 0,5 mm e os 0,7 mm, há uma grande queda na capacidade de aderência dos elementos (Figura 4:16, página 135) e, apesar da aderência média em 0,7 mm ter sido de 133,12°, metade dos resultados ficaram abaixo dos 12,8°.

A partir deste ponto, as construções de elementos informativos bidimensionais são recomendadas apenas se forem realizadas sobre o mesmo material da impressão.

Porém, pequenas diferenças de altura requerem mais tempo para leitura. Um bom valor para esse parâmetro deve ser maior do que 0,16 mm e menor do que 1 mm para garantir uma boa interação. Dentro deste intervalo, é possível trabalhar com quatro a cinco diferentes elevações para balizar características ou informações diversas da imagem (GÖTZELMANN, 2016).

Levando estes dados aos voluntários, as alturas das linhas foi o elemento mais perceptível por eles. Destacou-se negativamente a altura de 0,1 mm, comprovando a afirmação do parágrafo anterior e estimulando frases que refletiam as dificuldades: “Como é fininha!”, “Faltou cimento nessa.”, “Complicado!”, “Bem curtinho!”, “Esse é rojão!”, “Tem que ter muita atenção nesse.”, “Tá muito fininho. Some da mão.”, “Vou ficar ceguinho com esse!”, “Muito ruim de sentir”, “Fininho demais! Vai endoidar o coitado do cego!”, “Não por favor!”, “Tá se apagando.”, entre outras.

Todas as atividades puderam ser realizadas em todas as alturas. Segundo os resultados obtidos, embora ela não interfira significativamente no tempo de execução de uma atividade de posicionamento espacial, avaliada aqui pela atividade de localização de cópias de uma figura, imprimir em 0,1 mm pode influenciar negativamente no sucesso desta ação.

Localizar elementos no espaço fica mais fácil nas alturas maiores, especialmente em 0,3 mm, a qual apresentou os melhores resultados tanto no número de cópias localizadas quanto no tempo para realização da tarefa (Figura 4:41, página 171).

Estas mesmas qualidades se repetem na atividade de identificação da representação bidimensional de um objeto, agora em conjunto com as alturas de 0,2 mm e 0,4 mm (Figura 4:42, página 172). E, juntamente com a altura de 0,4 mm, a

altura de 0,3 mm gerou também os melhores tempos de exploração da área, medidos através da atividade de seguir uma linha (Figura 4:40, página 169).

Estes dados corroboram com a afirmação de Jehoel, Dinar *et al.* (*apud* GÖTZELMANN, 2016) de que a altura mínima entre duas camadas de materiais para uma exploração otimizada da informação é de 0,16 mm.

Apesar de a altura de 0,4 mm ter recebido mais elogios pelos voluntários (Figura 4:39, página 168), percebe-se que, além de ser uma das alturas com maior aderência, de maneira geral, a altura impressa de 0,3 mm obteve os melhores desempenhos.

5.2.2 Largura impressa

Fisicamente, os resultados dos experimentos indicam que a largura de contorno impresso equivalente à deposição de uma única linha (0,45 mm) limita a área de contato para uma boa aderência quando impressa sobre materiais diversos, a não ser que a altura impressa seja muito baixa (0,1 mm a 0,2 mm) ou que se imprima sobre o próprio material de impressão.

Por outro lado, ampliar a largura para 1,6 mm ou mais gera uma crescente resistência à flexão do conjunto, o que na prática aumenta a falha de aderência durante a manipulação de uma folha.

Embora esta manipulação suporte em média um ângulo de 270,4° (mediana de 357,5° nos experimentos) sobre um raio de 22,85 mm contra o descolamento de um filete de 160 mm produzido com esta largura de 1,6 mm sobre os materiais diversos testados, ela pode gerar o descolamento das pontas do filete em ângulos menores e, assim, fragilizar a aderência durante a manipulação da informação ampliando o desprendimento durante o processo de leitura.

Desta maneira, larguras maiores são indicadas apenas nestes casos de pranchas mais rígidas.

No entanto, durante a confecção das figuras a serem impressas, percebeu-se que, ao se ampliar a largura do contorno, muito dos detalhes da peça podem se perder ou ter sua distância entre linhas muito pequena para a percepção dos detalhes. Ou seja, a largura do contorno é um dos principais determinantes do tamanho da figura a ser impressa, pois está ligada ao nível de detalhes que podem ser percebidos pelos

usuários. A Figura 5:1 mostra como exemplo, a representação de duas mãos criadas com dimensões máximas de aproximadamente 30 mm. A da esquerda possui uma largura de contorno de 0,8 mm enquanto na segunda a largura de contorno utilizada é de 1,6 mm. É possível notar que o espaço interdigital foi comprometido na segunda medida, o que pode tornar seu reconhecimento mais difícil.

Figura 5:1 Desenho de mãos com contorno de diferentes larguras.



Fonte: o autor

A largura impressa de duas e três linhas impressas (0,8 mm e 1,2 mm), além de apresentar espaço para detalhes, apresentou nos testes maior aderência das peças, permitindo que uma certa flexibilidade na prancha não afetasse tanto sua fixação. Assim, foram necessários ângulos de $388,4^\circ$ e $381,9^\circ$, em respectivas medianas, para a completa retirada do filamento de 160 mm sobre o mesmo raio de curvatura citado antes (22,85 mm) (Figura 4:17, página 136).

Junto aos voluntários, estas duas larguras não geraram diferenças significantes entre si no desenvolvimento das atividades. Assim, a escolha de uso recai mais sobre as dimensões dos elementos que compõem a informação.

5.3 Ângulos, formas e superfícies

Seguem características secundárias à construção dos elementos táteis bidimensionais.

5.3.1 Ângulos das linhas

Era esperado que os elementos impressos se comportassem com menor aderência quando suas retas estivessem em ângulos de 90° em relação ao eixo de torção do material base. Mas os testes mostraram que este fenômeno se estende igualmente até os 40°. A partir de então rapidamente se invertem e tem-se as aderências máximas de linhas paralelas a até 30° delas (Figura 4:19, página 138, ali representando a perpendicularidade como 0°).

Combinando o ângulo com o raio do cilindro onde a folha foi enrolada, tem-se que a conformação forçada pelo enrolamento aos elementos impressos variou do círculo, nos 90° em relação à perpendicularidade, para uma hélice, e desta para a reta, ao se chegar ao paralelismo. Assim, as forças contra a estrutura em camadas de impressão dos paralelepípedos que compunham as linhas impressas estudadas atuaram em diversas direções.

Em outras palavras, as linhas impressas mais próximas da perpendicularidade em relação à torção sofreram um conflito de forças que reduziu sua aderência e provocou a dispersão dos seus resultados.

A partir dos 30° em relação ao paralelismo da torção, os resultados de aderência se concentram (como pode-se perceber pela proximidade dos quartis de 25% e de 75% da figura acima mencionada) e os resultados melhoram.

Este conhecimento é útil se for possível escolher o ângulo predominante dos elementos que se deseja imprimir em relação à manipulação das folhas. Por exemplo, se um livro tátil for impresso, e uma figura puder igualmente representada por linhas horizontais ou verticais, colocando-as entre 70° a 90° não deverá gerar problemas em relação ao folheamento das páginas.

5.3.2 Formas

Apesar de terem áreas diferentes, o comportamento das formas geométricas indica que as diferenças no desempenho nos testes realizados estão mais atreladas à área de ataque das figuras, a faixa de interseção entre a primeira área de contato

das formas com a linha paralela da torção em seu deslocamento de um lado a outro da folha, rastreando as formas geométricas em seu caminho.

O losango ataca a torção tendo como sua primeira forma de contato, uma ponta que abre em ângulo agudo, ou seja, inicia com a porção mínima de contato, a sua ponta, recebendo a pressão, o que levava ao início do descolamento. Conforme a área se amplia com o aumento linear da largura da figura, aumenta a resistência ao descolamento. Assim, quando não havia descolamento total os testes, a porção aderida era a central.

De modo contrário, a área de ataque do quadrado se estendendo por toda a sua lateral, paralela ao eixo de rotação do cilindro, e conseqüentemente ao de torção da amostra, faz com que ele chegue ao ponto de esforço e inicie o giro com a área máxima, a qual se mantém constante até o final da operação de enrolamento. Quando havia algum tipo de descolamento, ele ocorria nos vértices do quadrado, e muitas vezes não se aproximava dos centros das arestas.

O círculo apresentou um comportamento semelhante, apesar de ter uma linha de ataque que mais rapidamente avança para uma porcentagem alta da largura. O princípio estreito era suficiente para iniciar o descolamento, mantendo muitas vezes a porção central aderida ao final. A combinação de pequena seção transversal inicial com ganho rápido de área de contato, e, conseqüentemente, de força contrária à torção, levou à menor taxa de aderência dentre todos os objetos.

Assim como ocorre com os ângulos, trata-se de uma característica dependente da informação que está sendo impressa. Havendo a necessidade de se imprimir uma área, sendo possível, pontas devem ser evitadas, convertendo-as em curvas. As formas também devem ser rotacionadas de modo a ter faces paralelas a uma possível torção, como ocorre com a recomendação aos ângulos das linhas. Isto também pode reduzir desconfortos (SPIRANDELLI *et al.*, 2021).

5.3.3 Superfícies de preenchimento

A análise não mostrou haver diferenças significativas na aderência entre as superfícies analisadas. É possível que outras padronagens tenham desempenho melhor ou pior, porém as outras características de impressão, como altura, largura e formas das figuras terão um impacto muito maior no resultado.

Devido à sua maior área de contato e, por consequência, maior aderência, ela passa a ser indicada como base na construção de texturas, caso estas sejam impressas com menos de duas linhas de largura ($< 0,8$ mm), já que abaixo desta dimensão, a aderência é menor, e texturas são alvo de maior pressão e forças adversas promovidas pelos usuários.

5.4 Percepções das habilidades

Neste estudo, as habilidades citadas por Mazella, Albaret e Picard (2016) atuaram como guias para a aplicação das características de impressão em atividades onde as imagens se tornariam cotidianas. Os aspectos observados durante o uso destas habilidades nos testes, reforçam os discursos de Eriksson (1999) e Heller (1989b), pelos quais as pessoas deveriam ser estimuladas tatilmente desde a infância para o desenvolvimento de suas percepções de forma, direção, distância e dimensão. A ausência destas habilidades foi perceptível em alguns voluntários durante as atividades.

5.4.1 Escaneamento ao seguir linhas

Escanear a folha à procura da semiesfera não se mostrou como uma atividade difícil, mas em geral demorava um pouco para realizarem a percepção utilizando toda a mão em busca do objeto marcante e destacado.

Alguns voluntários utilizaram as pontas dos dedos e até chegaram a seguir a linha em busca do elemento. Com a familiarização com a forma, após o primeiro encontro com ela, a atividade se tornou mais rápida, embora alguns voluntários continuassem buscando a com a ponta dos dedos.

Um dos voluntários chamou a atenção para a diferença entre seguir uma linha horizontal de uma linha vertical, declarando esta última como mais difícil. Mas Heller (1989b) coloca que pessoas cegas de maneira geral possuem melhor compreensão de informações verticais do que pessoas videntes vendadas. Além disto, a figura apresentava as duas situações, linhas na vertical e na horizontal, e percebeu-se falhas

de continuidade em todos os ângulos em que ela foi oferecida, especialmente nos dois locais de aproximação das linhas.

Nestes eventos, alguns indivíduos, sem querer, confundiam a sessão em que estavam. Como consequência, passavam a seguir sem saber a linha na direção contrária até retornarem naturalmente para a semiesfera. Esta confusão parecia ocorrer com maior frequência quando utilizavam a parte mais larga da extremidade do dedo e não a ponta propriamente dita, principalmente nas menores alturas impressas.

O evento mais grave foram os dois voluntários que não conseguiam seguir a linha por muito tempo. Logo desviavam a direção e se afastavam perpendicularmente antes de toparem com qualquer elemento que pudesse gerar confusão, mesmo que apenas uma curva mais fechada. Era como se criassem uma forma de atalho para não terem que percorrer toda a extensão da linha. Talvez buscando um outro elemento como a semiesfera na extremidade oposta.

Excetuando estes casos isolados, a atividade se mostrou como sendo a mais simples. Embora tenha também sido a que mais invalidou resultados (4 dos 28), a grande maioria alcançou o final sem problemas.

Seguir as linhas também se apresentou como uma atividade em cujos resultados de tempo de execução não houve distinção por tipo de perda de visão (congenita ou adquirida), por escolaridade nem por quantidade de visão (perda completa ou baixa visão).

5.4.2 Discriminação tátil nas diferentes densidades de textura

Quando utilizadas isoladamente, as texturas mais facilmente percebidas são as mais espaçadas, no caso testado, aquelas com 10% de densidade de preenchimento interno. Nelas, os voluntários puderam perceber e descrever a textura.

Metade deles distinguiram diferenças entre as densidades até a transição dos 50% para os 60% do preenchimento. A partir de então, para esta metade respondente, as texturas passavam a ser iguais.

Na textura das linhas paralelas, a *Aligned Rectilinear*, “lisa” foi o adjetivo mais utilizado sobre a percepção na medida em que o espaçamento entre as linhas

diminuía. A segunda textura, a *Hilbert Curve*, foi relatada como uma lixa, com o aumento da densidade.

Por este contraste, o uso das duas texturas reunidas permitiu uma melhor distinção tátil e elevaram todos os quartis de modo que metade dos voluntários conseguiu distinguir igual ou acima da diferença de densidade existente na transição dos 90% para os 100%.

A busca constante por qual seria a melhor, mesmo que sobre apenas três faixas de texturas, gerou cansaço tátil em alguns participantes, fazendo-os trocar de dedos durante do teste. Isto acende um alerta para o fato de que texturas podem ser mais extenuantes do que contornos ao delimitar formas e, por isto, devem ser utilizadas com moderação.

Apesar dos números absolutos apresentarem pequenas diferenças, a existência de memória imagética anterior ou da condição baixa visão ou mesmo das variações de escolaridade não influenciam a percepção das diferenças entre texturas, corroborando com os resultados de Heller (1989b) quando afirmam que os cegos tardios podem ter desempenho um pouco melhor do que os cegos de nascença (página 58 e página 182).

5.4.3 Compreensão espacial para localizar cópias

Heller (1989a) coloca que a habilidade necessária para um bom desempenho nesta tarefa depende da familiaridade e prática. No entanto, localizar cópias de figuras se mostrou uma atividade mais fácil do que identificar objetos com um total de 84,03% se localização de todas as cópias disponíveis, mesmo sem treinamento prévio.

Percebeu-se que rotação das figuras não influenciou nos testes, visto que os próprios voluntários por vezes giravam toda a folha deixando a maioria das figuras em ângulos diversos.

As alturas e as larguras impressas, a quantidade de visão, e o momento da perda da visão (cegueira congênita ou tardia) não influenciaram no tempo de execução da tarefa, mas sob a altura de 0,1 mm houve uma menor quantidade de cópias localizadas. Uma redução média de 17,58%.

A maior influência parece vir das três estratégias utilizadas: (1) a memorização dos elementos, ou (2) trabalhar retornando ao ponto inicial para conferir as formas, ou

ainda (3) usar as duas mãos, uma analisando a nova forma, enquanto a outra compara com o objeto original.

Aqueles voluntários que se basearam apenas na primeira estratégia, a memorização, por vezes perdiam o referencial de posicionamento na folha e confundiam as cópias dos objetos, apresentando dificuldade em distinguir se o novo encontro se tratava de uma cópia anteriormente localizada ou se era uma nova. Também houve três casos nos quais o par de cópias apontadas eram as do teste anterior.

O mais comum foi uma combinação das duas primeiras estratégias. Assim, passavam um tempo percebendo o objeto inicial para memorização dos seus elementos utilizando apenas um dos dedos (vide Figura 4:38, página 165) e retornavam para ele para conferir quando encontravam uma provável combinação.

No entanto, durante a exploração, em vez de memorizar e buscar pelo elemento completo, muitos voluntários optaram por localizar elementos específicos escolhidos por eles como referência de busca.

No cabide, foi o seu gancho; da meia, o quadrado na parte superior; na chave, o círculo interno da pega; e do nariz, hora a narina, hora a linha que se estendia para o alto. Estas eram as partes memorizadas e buscadas. Não o objeto como um todo. E curiosamente as escolhas eram sempre as mesmas.

Apenas quando um elemento semelhante era encontrado que o todo do objeto era conferido com o original. Esta estratégia minimiza a carga mnemônica e agiliza o processo ao reduzir a análise a um único e menor elemento. E é um bom método que deveria ser replicado em treinamentos, se ele já não for feito.

Poucos voluntários utilizaram terceira estratégia, sugerida por Heller (1989a) e Mazella, Albaret e Picard (2016) por ser um meio de reduzir a carga de memória e aumentar a velocidade da atividade, tanto ao comparar quanto para melhor estabelecer relações de dimensão entre os elementos das figuras. Quando o fizeram foi por pouco tempo, mesmo sendo estimuladas durante as aplicações.

Percebeu-se ainda que alguns voluntários tinham dificuldades para expandir a exploração para a totalidade da folha, mas não foi observado se existia alguma relação desta dificuldade de exploração com as atividades de localizar a semiesfera e seguir a linha do teste anterior.

Estes pontos poderiam ser melhorados através do treinamento e prática mencionados no início deste tópico. Tanto a exploração das folhas quanto a técnica de localização.

5.4.4 Compreensão da imagem

A habilidade de reconhecimento de imagens é a mais difícil dentre as utilizadas aqui. Ela requer familiaridade tátil prévia com os objetos, habilidade de exploração de suas formas, habilidade de discriminar formas, tamanhos e texturas, e compreender os posicionamentos dos elementos e guardar tudo isto em uma memorização de curto prazo (MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016).

Uma boa taxa de identificação requer treinamento e descrições precisas de formas, funções e contexto de uso, além de consideração de obstáculos cognitivos como a familiaridade e a complexidade das formas (D'ANGIULLI; KENNEDY; HELLER, 1998; ERIKSSON, 1999; HELLER, 1989a, 1985, 1989b; MAZELLA; ALBARET; PICARD, 2016; BANA *apud* STANGL; HSU; YEH, 2015).

No entanto, para analisar os aspectos construtivos do conteúdo tátil, estas instruções precisaram ficar um pouco de lado. Por isto, esperava-se que a taxa de reconhecimento fosse muito baixa. Os 56,48% de reconhecimento obtidos nos experimentos estão acima da expectativa.

Comparando com o estudo de Heller (1989a), no qual cegos de nascença reconheceram 9,1% das imagens sem dicas e 49,3% após receberem um conjunto de nomes em ordem aleatória dentre os quais estava a resposta. Nesta pesquisa, para cegos congênitos, com dicas vagas, distribuição aleatória das imagens, com duas repetições para cada uma, chegou-se a uma taxa de reconhecimento de 52,5%.

Com pessoas que se tornaram cegas depois, o experimento de Heller (*op. cit.*), alcançou 35,8% de reconhecimento sem dicas e 81,8% com o conjunto de nomes. A taxa de reconhecimento dos objetos no terceiro teste efetuado neste trabalho atingiu 56,73% com as dicas vagas e a repetição, reproduzindo, mesmo que levemente, o maior resultado deste grupo de voluntários, o que é explicado pelo fato de que cegos tardios podem contar com a memória das imagens, como uma pessoa vidente, e com a apurada percepção tátil, como um cego de nascença (HELLER, 1989a).

A simplificação de uma imagem pode facilitar sua identificação (ERIKSSON, 1999; HASPER *et al.*, 2015; SPIRANDELLI *et al.*, 2021), mas durante este processo deve se manter em mente o objetivo da informação para que elementos familiares que podem ajudar na identificação não sejam removidos (HASPER *et al.*, 2015; HELLER, 1989a).

No entanto, pelo que se percebeu na forma como muitos voluntários buscaram as cópias (vide tópico anterior), é interessante que, além destes elementos familiares, típicos dos objetos, quando vários objetos estiverem presentes no mesmo local, averiguar se cada um possui um elemento único, como uma assinatura que o diferencie dos demais objetos para que possa ser reconhecido rapidamente em outros locais.

A redução do tempo de identificação verificada entre o primeiro e segundo encontro com a mesma figura mostra que pelo menos uma parte da figura ou o seu elemento de assinatura é retido, mesmo depois de se passar por outras imagens e outras atividades.

Assim, pode-se supor que quanto mais contato as pessoas tiverem com ilustrações, mais rápido será seu reconhecimento. E, expandindo para formas diferentes de representação do mesmo objeto, ter-se-ia uma ampliação do acervo imagético e, conseqüentemente, com o potencial de familiaridade com as imagens.

Esta característica, a familiaridade com as formas das figuras e maneiras de representá-las, parece ser um dos pontos fundamentais para o reconhecimento de imagens de qualquer tipo, não apenas as táteis (HELLER, 2002; HELLER; MCCARTHY; CLARK, 2005; SNODGRASS; VANDERWART, 1980). Esta pode ser inclusive um motivo para o desempenho de videntes vendados sobre cegos de nascença, visto que os primeiros não possuem tanta habilidade tátil quanto o segundo grupo (HELLER, 1989a).

Nos experimentos aplicados, a familiaridade foi mais influente do que os aspectos de fabricação na identificação, embora as menores alturas tenham tido uma taxa menor de reconhecimento. Os voluntários concordavam e discordavam com sua representação, além de fazer associações às suas memórias.

Apesar de serem plenamente capazes de compreender por diferentes pontos de percepção e localização (HELLER; KENNEDY, 1990), a falta de familiaridade com

as formas de representação gráfica foi a principal causa da baixa identificação do nariz pelos voluntários.

Percebeu-se que existia dificuldade em relacionar as linhas da forma em perfil com o que era sentido no mundo tridimensional, especialmente a localização da ponta do nariz, que no desenho fica na lateral da figura, e o significado da linha ascendente que parte da ponta da esquerda em direção à parte superior da figura (vide Figura 4:37, página 165).

Alguns voluntários afirmaram esperar por uma versão frontal da representação do órgão e um deles afirmou que necessitava de mais dados como o biotipo do nariz. Mesmo quando se orientava a percorrer a linha do desenho com um dos dedos indicadores enquanto se percorria o próprio nariz simultaneamente com o outro indicador, a compreensão não transmitia segurança no entendimento.

Por estas ocorrências, apesar de compartilharem a área multimodal do cérebro voltado para o reconhecimento de objetos familiares (AMEDI *et al.*, 2001; LACEY *et al.*, 2010), um estudo semelhante ao de Snodgrass e Vanderwart (1980) listando e categorizando a complexidade e familiaridade de representações de objetos táteis levaria a maiores taxas de identificação.

No entanto, o que é familiar é algo que essencialmente varia com as vivências de cada indivíduo então os resultados de um estudo assim possivelmente elencariam respostas estatisticamente relevantes dentro de um recorte populacional definido.

Apesar disto, acredita-se que a relação entre os demais dados de uso de cada característica de fabricação testada não seria alterada, uma vez que todos os indivíduos passaram por todas as imagens em todos os testes.

Muitos dados foram gerados e analisados. De forma geral, alguns estudos previamente analisados tiveram conclusões semelhantes às encontradas aqui. Outras diferiram. As conclusões do capítulo a seguir unificam as descobertas e elencam recomendações de uso.

6 Conclusão

Imprimir sobre uma base composta por um material diferente daquele utilizado na impressão traz benefícios de uma grande economia de tempo e material. No caso de alguns dos experimentos aqui realizados, a economia chegou a 4.050% em termos de tempo, e a 2914,29% em termos de material. Estes valores variam de peça para peça e são inversamente proporcionais à porcentagem da área da base coberta por informações úteis.

No entanto, a aderência do material impresso sobre a base depende da escolha do material da base. A afinidade química e a estabilidade térmica sob altas temperaturas direcionam para a escolha de materiais a base de celulose com gramaturas acima de 120 g/m² como solução ideal.

Porém, o design de conteúdo tátil também depende bastante das configurações escolhidas para a construção e impressão das informações. De forma geral, a aderência das linhas de contorno é limitada à certas alturas de impressão. A informação não resistiria, por exemplo, a uma dobradura com vinco. No entanto, com 0,1 mm de altura, aderência se mostrou suficientemente alta para 96 linhas retas de 160 mm resistirem completamente ao descolamento depois de dois enrolamentos completos em um cilindro, de maneira perpendicular ao seu eixo: 360,21° a 399,45°, dependendo da espessura do material testado, sobre 22,85 mm de raio. Com 0,2 mm, os resultados não mostraram diferenças significantes. Os bons resultados se mantiveram até a altura de 0,4 mm. Linhas com alturas maiores levam à objetos com baixa aderência à base e por isto podem se soltar durante a manipulação dos usuários.

Junto aos voluntários, a altura de 0,1 mm, apesar de ser percebida, foi a que recebeu maior número de reclamações e menores desempenhos nas tarefas testadas. Nas atividades de seguir uma linha sinuosa, identificar objetos bidimensionais e localizar cópias deles, atividades frequentemente utilizadas no uso de informações táteis, as alturas de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm mostraram resultados estatisticamente semelhantes de maneira geral, com a 0,3 mm levemente se destacando em desempenho. Desta forma, no design de informação imagética tátil utilizando manufatura aditiva, é aconselhável utilizar linhas de contorno entre 0,2 mm e 0,4 mm de altura.

Em relação à largura destas linhas, os resultados se mostraram muito próximos com ligeira vantagem para o uso de dois a três linhas de perímetro para um bico de 0,4 mm, ou seja, entre 0,8 mm e 1,2 mm. Entre estas dimensões, as diferenças de aderência e percepção pelos voluntários foram baixas e a escolha recai no nível de detalhamento que cada uma é capaz de mostrar.

Na configuração de texturas, pode-se utilizar a exposição do preenchimento interno (*infill*) com densidades inferiores a 50%. Porém, quando mais de uma textura forem reunidas no mesmo conteúdo, densidades de até 90% de preenchimento poderão ser distinguidas pela maioria das pessoas.

Se a orientação das peças puder ser escolhida, linhas retas devem ser dispostas a até 20° em relação a um possível eixo de torção que o conjunto possa sofrer. Giros de $\pm 45^\circ$ nas imagens não afetam atividades de identificação e localização de cópias, assim a escolha do padrão de preenchimentos de superfície a ser utilizados em formas preenchidas não influenciam a aderência das peças.

Os contornos definirão bem as formas impressas, mas se for necessário preenchê-lo, é recomendado que as quinças sejam abauladas.

Com estas configurações, não se verificou diferenças significativas entre cegos congênitos e cegos tardios, nem entre pessoas cegas e pessoas com baixa visão nas atividades de seguir uma linha sinuosa, identificar objetos bidimensionais e localizar cópias deles.

A escolaridade não obteve distinção na atividade de seguir linhas, mas a formação foi proporcional ao desempenho ao localizar cópias das imagens. Na identificação das figuras, aqueles que possuíam o ensino superior mostraram os melhores resultados.

Portanto, respondendo às hipóteses lançadas no início da pesquisa, a primeira delas, que é possível imprimir imagens táteis utilizando filamento sobre outros materiais pré-fabricados foi confirmada, embora seja limitada às configurações aqui listadas para que mantenha a aderência do conteúdo ao mesmo tempo que reduz os custos de produção, facilitando assim a disseminação do material.

A relação à segunda hipótese, a qual afirma que a legibilidade é dependente dos parâmetros de impressão, também foi confirmada, embora a largura das linhas de contorno tenha pouca influência.

No entanto, é importante salientar que apesar de influenciarem o desempenho nas tarefas de uso de imagens táteis, as configurações de fabricação não são o único ponto importante que deve ser considerado no design de imagens táteis. Diante de uma imagem deste tipo, a principal pergunta que deve ser feita a uma pessoa com deficiência visual não deve ser qual a imagem se encontra diante de si, mas sim qual a informação que está sendo apresentada. Isto envolve muito mais do que acertar um objeto. Passa por compreender as linhas e as relações entre elas, o contexto existente entre os objetos na construção da informação.

Por isto, o objetivo da produção de imagens táteis deve ser primeiramente qual a informação se quer passar e, depois, como construir esta informação, local onde este estudo encontra sua aplicação.

6.1 Contribuições e estudos futuros

Pode-se elencar importantes pontos a serem considerados no design de conteúdo tátil considerando a utilização da manufatura aditiva como processo de fabricação.

Como consequência deste agrupamento de informações, pretende-se compartilhar estes conhecimentos com a população geral através da criação de um manual bilingue simplificado em versão textual e outra audiovisual, a serem distribuídos nas instituições nacionais e internacionais de apoio às pessoas com deficiência visual. Também em sites específicos de conteúdo para manufatura aditiva, como o Cults 3D¹³, o Printables¹⁴, o Thingiverse¹⁵, entre outros, além de em canais de redes diversas sobre o assunto, visando a difusão destes conhecimentos junto à comunidade criadora de conteúdo.

Dentre as recomendações para a produção de imagens táteis, lista-se estas a seguir:

¹³ www.cults3d.com

¹⁴ www.printables.com

¹⁵ www.thingiverse.com

- (1) Simplificar as imagens focando na informação específica que se deseja passar, pois o tato não é capaz de perceber tantos detalhes quanto a visão e exige mais da memória.
- (2) Desenhos em perspectiva devem ser evitados, a não ser que o público-alvo possua algum tipo de treinamento em sistemas de representação.
- (3) Garantir que as imagens táteis sejam acompanhadas de interpretações (em áudio, Braille ou outro tipo de mídia) que deem uma visão geral, localizem elementos no espaço e os descrevam em detalhes e funções, e terminem em um resumo geral.
- (4) Na concepção das formas, as pontas devem ser levemente arredondadas, tanto para melhorar a aderência ao distribuir a tensão no local quanto para reduzir a agressão ao toque.
- (5) As larguras das linhas de contorno devem preferencialmente variar entre 0,8 mm e 1,2 mm (duas e três linhas de perímetro quando utilizado um bico de 0,4 mm). A primeira opção é recomendada se um pouco mais de detalhes for necessário.
- (6) Se os ângulos e formatos geométricos puderem ser escolhidos, as linhas de contorno devem preferencialmente estar no intervalo de 0° a 20°, não mais que 30°, em relação ao eixo de uma possível torção.
- (7) As texturas podem ser feitas com o preenchimento interno (infill) usando 10% até 50% de densidade quando utilizada sozinha e não houver linhas de contorno. Se acompanhada de outra textura, este valor pode variar de 10% a 90%. Mas elas devem ser usadas com moderação pois cansam o tato.
- (8) As linhas de contorno devem ter preferencialmente 0,3 mm de altura, mas podem variar de 0,2mm a 0,4 mm.
- (9) A altura das camadas impressas deve ser igual ou menor do que metade do diâmetro do bico extrusor da impressora.
- (10) Para facilitar a disseminação dos materiais ao reduzir seus custos, as impressões podem ser feitas sobre materiais a base de celulose com 120 g/m² a 180 g/m² de gramatura, caso a peça não for ser dobrada ou virada em um raio menor do que 30 mm.
- (11) O uso das duas mãos deve ser estimulado na leitura das informações.

- (12) Se o assunto for complexo, alguns objetos tridimensionais podem ser gerados para auxiliar, uma vez que possuem características que auxiliam o reconhecimento e o aprendizado.
- (13) Que as pessoas com deficiência visual sejam frequentemente estimuladas a lidar com imagens bidimensionais táteis desde as menores idades.

Espera-se que os dados aqui contidos possam ser difundidos para que, se aproveitando do compartilhamento de uma produção mundial de conteúdos se possa aumentar a variedade e quantidade de materiais e, deste modo, ampliar a inclusão social ao facilitar a compreensão do mundo visual através da sua tradução para o mundo tátil com eficácia e relativo baixo custo.

A difusão das recomendações deve incluir adicionalmente trabalhos científicos, os quais podem ser beneficiados não apenas nas áreas relacionadas aos problemas de percepção de imagens, como também, por exemplo, naquelas relacionados à fabricação por manufatura aditiva, caso de um artigo que apresentou o design de uma proteção utilizada por profissionais na linha de frente do combate ao SARS-CoV-2 em hospitais, em 2020, a qual se baseou nas seções desta pesquisa para reduzir tempo de produção e quantidade de material, mantendo a resistência, conforto e facilidade de higienização (BARROS *et al.*, 2020).

Várias ideias surgiram durante a construção desta pesquisa. Elas são elencadas no decorrer dos próximos parágrafos.

O primeiro deles é a determinação exata da influência da temperatura da mesa e da umidade do ar na produção de conteúdo tátil impresso sobre materiais base. Sabe-se que o aumento da temperatura da mesa amplia a aderência, mas, com o isolamento proporcionado pelo material, seria interessante conhecer quanto da temperatura chega à superfície onde será depositado o filamento polimérico. Além disto, seria interessante saber se e o quanto a umidade do ar pode afetar a aderência em materiais a base de celulose.

Outro aspecto intrigante são as possibilidades que a impressão utilizando um filamento de material flexível podem gerar. Se a aderência aos materiais base for boa, ele ofereceria uma resistência muito baixa à flexão dos conteúdos e, assim, permitiria uma maior durabilidade.

Por outro lado, trata-se de um material de difícil aplicação, mediante à facilidade com que entope dos bicos de impressão uma vez que, por ser flexível, não se pode aplicar a mesma pressão para a extrusão do material nem o puxar para sua retirada da máquina. Por estes motivos a retração durante a impressão precisa estar desligada e a deposição precisa acontecer de maneira extremamente lenta, o que afeta o tempo, e conseqüentemente os custos de produção.

Outra ideia que poderia ser investigada são os efeitos causados pela aplicação dos métodos tradicionalmente utilizados para aumentar a aderência à mesa da impressora de uma fabricação tridimensional comum, sobre o material base da impressão bidimensional. Cola bastão, fitas adesivas e até sprays de cabelo são comumente utilizados para evitar que uma peça tridimensional se solte da mesa da impressora durante o processo de fabricação. Como eles afetariam a fixação das linhas de contorno das figuras, se estes métodos fossem aplicados no material base?

Da mesma maneira, como as texturas reagiriam se impressas sem a base que foi utilizada no experimento (mostradas na Figura 4:28, na página 151)? E qual o impacto na aderência se o preenchimento interno fosse utilizado com mais linhas lado a lado?

Um estudo de familiaridade e complexidade poderia encontrar um estilo de desenho que seria mais facilmente reconhecido. Por outro lado, se uma pessoa com deficiência visual fosse treinada nos sistemas de representação gráfica tridimensionais (como a perspectiva cônica e axonométrica ou o sistema mongeano de representação ortogonal) teria uma melhor compreensão da leitura dos objetos bidimensionais táteis da mesma forma que um treinamento em Braille permite a leitura tátil, por então incluir estas perspectivas em seu alcance de familiaridade?

Também seria interessante saber se estes materiais produzidos teriam o mesmo grau de eficácia se fossem produzidos utilizando canetas 3D. Apesar de a produção utilizando elas ser artesanal e apresentar baixo poder de replicabilidade, elas têm as vantagens de possuírem um custo mais baixo e uma produção que pode ser realizada em qualquer local por qualquer pessoa sem muito treinamento, inclusive para comunicação visual rápida entre pessoas com deficiência visual.

Uma ideia que surgiu com as reações de alguns dos voluntários foi a criação de times para uma competição entre instituições de apoio utilizando alguns dos testes aqui descritos, como seguir a linha, localizar as cópias dos objetos e identificar as

figuras. O objetivo seria o de estimular e difundir as habilidades de escaneamento, posicionamento e orientação espacial, memorização e identificação de imagens.

Ou a criação de novos jogos de tabuleiro adaptados ou criados para serem táteis. Eles poderiam ir além dos jogos tradicionais de trilha e sorte ao se basear, por exemplo, nas tendências surgidas na Europa em meados da década de 1990 de inclusão e participação de todos os jogadores até o final do jogo com controle e/ou redução da sorte.

Todas estas ideias podem gerar projetos de ensino, pesquisa e extensão inclusivos ou que auxiliem a inclusão social e/ou oficinas para troca de conhecimentos a respeito das possibilidades que a manufatura aditiva trás para a produção de material tátil. A verdade, relatada por vários voluntários, é que existe carência de imagens adaptadas e isto faz falta, principalmente na educação.

Assim, considerando como o todo dos dados apresentados neste documento através dos seus capítulos, especialmente nos de discussão e conclusão, este é apenas mais um dos possíveis caminhos que o design pode proporcionar na busca por um mundo adaptado aos seres vivos sem desrespeitar as relações ecossistemáticas. Mas trilhá-los é uma necessidade inadiável.

Referências

AMAZON. 3d printer. 2020. Available at:

<https://www.amazon.com/s?k=3d+printer&s=price-asc->

[rank&qid=1579808724&ref=sr_st_price-asc-rank](https://www.amazon.com/s?k=3d+printer&s=price-asc-rank&qid=1579808724&ref=sr_st_price-asc-rank). Accessed on: 23 Jan. 2020.

AMEDI, Amir; MALACH, Rafael; HENDLER, Talma; PELED, Sharon; ZOHARY, Ehud. Visuo-haptic object-related activation in the ventral visual pathway. **Nature Neuroscience**, vol. 4, no. 3, p. 324–330, 2001. <https://doi.org/10.1038/85201>.

AMERICAN FOUNDATION FOR THE BLINDERS. Braille Printers. [s. d.]. Available at: <https://www.afb.org/blindness-and-low-vision/using-technology/assistive-technology-products/braille-printers>. Accessed on: 23 Jan. 2020.

APURVA, Anubhav; THAKUR, Palash; MISRA, Anupam. Aiding the visually impaired: Developing an efficient braille printer. 2017-Janua., 30 Nov. 2017. **2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2017** [...]. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 30 Nov. 2017. vol. 2017-Janua, p. 2128–2133. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2017.8126160>.

ARAÚJO, Manoel Deisson Xenofonte; SANTOS, Deborah Macêdo dos. Fotografia tátil: desenvolvimento de modelos táteis a partir de fotografias com a utilização de impressora 3d. **Revista Brasileira de Design da Informação**2, vol. 12, no. 1, p. 62–76, 2015. Available at: <https://go-gale.ez16.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE%7CA465696653&v=2.1&it=r>.

ASTM. **D4541-17 - Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion**. West Conshohocken: ASTM International, 2014. <https://doi.org/10.1520/D4541-17>.

AUTODESK. Three Inventors Pioneer a New Industrial Revolution in Japan. 2016. **AUTODESK Costumer Stories**. Available at: <http://www.autodesk.com/customer-stories/exiii>. Accessed on: 21 Mar. 2016.

BALIK, Suzanne P; MEALIN, Sean P; STALLMANN, Matthias F; RODMAN, Robert D. GSK: universally accessible graph sketching. 2013. **Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education** [...]. [S. l.: s. n.], 2013. p. 221–226.

BALIK, Suzanne P; MEALIN, Sean P; STALLMANN, Matthias F; RODMAN, Robert D; GLATZ, Michelle L; SIGLER, Veronica J. Including blind people in computing through access to graphs. 2014. **Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility** [...]. [S. l.: s. n.], 2014. p. 91–98.

BARROS, Gutenberg X. S. **Modelagem digital tridimensional para o desenvolvimento de prototipagem rápida: um enfoque sobre a modelagem orgânica**. 2012. Universidade Federal de Pernambuco, 2012. Available at: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/11470>.

BARROS, Gutenberg X. S.; DA GAMA, Alana E. F; SANTANA, Maira A.; ANDRADE, Maria K. S.; MORENO, Giselle M. M.; OLIVEIRA, Ana P. S. Produção, desenvolvimento e otimização de escudos faciais (face shields) por manufatura aditiva. 2020. **Anais do IV Simpósio de Inovação em Engenharia Biomédica** [...]. Recife: [s. n.], 2020. p. 130–136. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Wellington-Dos-Santos/publication/348581216_Anais_do_IV_Simposio_de_Inovacao_em_Engenharia_a_Biomedica_-_SABIO_2020/links/602e8cc6299bf1cc26d636fb/Anais-do-IV-Simposio-de-Inovacao-em-Engenharia-Biomedica-SABIO-2020.pdf.

BATTIG, W. F.; MONTAGUE, W. E. Category norms for verbal items in 56 categories: a replication and extension of the Connecticut category norms. **Journal of Experimental Psychology Monograph**, vol. 80, no. 3, 1969. Available at: <https://psycnet.apa.org/fulltext/1969-12939-001.pdf>. Accessed on: 28 Apr. 2021.

BLISS, Laura. Maps That You Can Hear and Touch. 2015. Available at: <http://www.citylab.com/design/2015/01/making-better-maps-for-the-blind/384495>. Accessed on: 20 Apr. 2016.

BOMFIM, Gustavo Amarante. **Notas de aula sobre Design e Estética**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2001. Available at:

<http://periodicos.anhembi.br/arquivos/Apostila/382670.pdf>.

BRASIL. Lei 13146/15, de 6 de julho de 2015. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência**, Brasília, DF, Brasil, vol. 1 DOU, 2015. .

BRITO, Caio; TEIXEIRA, João Marcelo; BARROS, Gutenberg X. S.; CORREIA, Walter; TEICHRIEB, Veronica. Multimodal augmentation of surfaces using conductive 3D printing. **SIGGRAPH 2016 - ACM SIGGRAPH 2016 Posters**, , p. 8, 2016. <https://doi.org/10.1145/2945078.2945093>.

BUSCAPE. Comparar preço de impressora 3d. 2021. Available at:

[https://www.buscape.com.br/search?q=impressora 3D](https://www.buscape.com.br/search?q=impressora+3D). Accessed on: 26 Nov. 2021.

CATTELL, James McKeen. The time it takes to see and name objects. **Mind**, vol. 11, no. 41, p. 63–65, 1886. Available at:

https://www.jstor.org/stable/2247157?seq=1#metadata_info_tab_contents.

CONOVER, William Jay. **Practical nonparametric statistics**. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 1980.

COSTA, Dailson Evangelista; PEREIRA, Marcos José; MAFRA, José Ricardo e Souza. Geoplano no ensino de matemática: Alguns aspectos e perspectivas da sua utilização na sala de aula. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, vol. 7, p. 43, 30 Jun. 2011.

<https://doi.org/10.18542/amazrecm.v7i0.1695>.

ĆWIKŁA, G.; GRABOWIK, C.; KALINOWSKI, K.; PAPROCKA, I.; OCIEPKA, P. The influence of printing parameters on selected mechanical properties of FDM/FFF 3D-printed parts. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, vol. 227, no. 1, 2017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/227/1/012033>.

D'ANGIULLI, Amede; KENNEDY, John M.; HELLER, Morton A. Blind children recognizing tactile pictures respond like sighted children given guidance in exploration. **Scandinavian Journal of Psychology**, vol. 39, no. 3, p. 187x--190, 1998. .

DODDS, A. G.; HOWARTH, C. I.; CARTER, D. C. The Mental Maps of the Blind: The Role of Previous Visual Experience. **Journal of Visual Impairment & Blindness**, vol. 76, no. 1, p. 5–12, 1982. DOI 10.1177/0145482X8207600102. Available at: <https://doi.org/10.1177/0145482X8207600102>.

DOOLEY, Samuel S; OSTERHAUS, Susan; BROWN, Dan; LOZANO, Edgar; PARK, Su H. Online nemeth braille input/output using content MathML. 2016. **Proceedings of the 13th Web for All Conference** [...]. [S. l.: s. n.], 2016. p. 12.

DUNN, O. J. Multiple comparisons among means. **Journal of the American Statistical Association**, vol. 56, p. 52–64, 1961. .

DURSO, Francis T.; JOHNSON, Marcia K. Facilitation in naming and categorizing repeated pictures and words. **Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory**, vol. 5, no. 5, p. 449–459, Sep. 1979. DOI 10.1037/0278-7393.5.5.449. Available at: <https://psycnet.apa.org/journals/xlm/5/5/449>. Accessed on: 28 Apr. 2021.

DZIALOSHINSKII, I. E.; LIFSHITZ, E. M.; PITAEVSKII, L. P. The general theory of van der Waals forces. **Advances in Physics**, vol. 10, no. 38, p. 165–209, 1961. <https://doi.org/10.1080/00018736100101281>.

ERIKSSON, Yvonne. How to make tactile pictures understandable to the blind reader. **The Swedish Library of Talking Books and Braille**, , p. 7, 1999. Available at: <http://homepage.univie.ac.at/moritz.neumueller/artecontacto/materials/Eriksson.pdf>. Accessed on: 29 Feb. 2020.

FANTIN, Dennis; SUTTON, Marc; DAUMANN, Lena J; FISCHER, Kael F. Evaluation of Existing and New Periodic Tables of the Elements for the Chemistry Education of Blind Students. **Journal of Chemical Education**, vol. 93, no. 6, p. 1039–1048, 2016.

FARAH, Shady; ANDERSON, Daniel G. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review.

Advanced Drug Delivery Reviews, vol. 107, p. 367–392, 15 Dec. 2016. DOI

10.1016/J.ADDR.2016.06.012. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X16302058>. Accessed on: 22 Mar. 2019.

FERREIRA, Maria Engracinda dos Santos; SILVA, Luiz Felipe Coutinho Ferreira da. A aplicação das tecnologias de prototipagem rápida na confecção de matrizes táteis.

Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 20, no. 2, p. 411–426, 2014. DOI

10.1590/S1982-21702014000200024. Available at:

<http://www.scielo.br/j/bcg/a/qypBWPBXVGsL6gspQYdHpYB/?lang=pt>. Accessed on: 25 Oct. 2021.

FLORIO, Wilson; ARAÚJO, Nieri Soares de; SEGALL, Mario Lasar. Protótipos rápidos de coberturas complexas em arquitetura: comparação entre os processos FDM e 3D printer. 2008. **14 Convención Científica de Ingeniería Y Arquitectura** [...]. Habana: [s. n.], 2008.

FRIEDMAN, Milton. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. **Journal of the American Statistical Association**, vol. 32, no. 200, p. 675–701, 1937. .

GIBBS, Julian H; DIMARZIO, Edmund A. Nature of the Glass Transition and the Glassy State. **The Journal of Chemical Physics**, vol. 28, no. 3, p. 373–383, 1958.

DOI 10.1063/1.1744141. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.1744141>. Accessed on: 30 Jul. 2019.

GILMORE, J. H.; PINE, B. J. The four faces of mass customization. **Harvard Business Review**, vol. jan-fev, no. 75, p. 91–101, 1997. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10174455/>. Accessed on: 15 Apr. 2021.

GORNI, Antônio A. Prototipagem rápida: o que é, quem faz e por que utilizá-la. **Revista Plástico Industrial**, vol. 9, no. 31, p. 230–239, 2001. .

GÖTZELMANN, Timo. LucentMaps: 3D printed audiovisual tactile maps for blind and visually impaired people. **ASSETS 2016 - Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**, , p. 81–90, 2016. DOI 10.1145/2982142.2982163. Available at: <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2982142.2982163>.

GUERREIRO, Augusto Deodato. **Dicionário de Conceitos, Nomes e Fontes para a Inclusão: Humanizar a Vida em Cidadania e no Prazer Solidário de Existir**. 2nd ed. Almada: [s. n.], 2018. Available at: <http://hdl.handle.net/10437/9485>.

HASPER, Eric; WINDHORST, Rogier A; HEDGPETH, Terri; VAN TUYL, Leanne; GONZALES, Ashleigh; MARTINEZ, Britta; YU, Hongyu; FARKAS, Zoltan; BALUCH, Debra P. Methods for creating and evaluating 3D tactile images to teach STEM courses to the visually impaired. **Journal of College Science Teaching**, vol. 44, no. 6, p. 92–99, 2015. .

HELLER, Morton A. Picture and pattern perception in the sighted and the blind: The advantage of the late blind. **Perception**, vol. 18, no. 3, p. 379–389, 1989a. <https://doi.org/10.1068/p180379>.

HELLER, Morton A. Tactile picture perception in sighted and blind people. 135., 20 Sep. 2002. **Behavioural Brain Research** [...]. [S. l.: s. n.], 20 Sep. 2002. vol. 135, p. 65–68. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(02\)00156-0](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(02)00156-0).

HELLER, Morton A. Tactual perception of embossed Morse code and braille: the alliance of vision and touch. **Perception**, vol. 14, no. 5, p. 563–570, 25 Oct. 1985. DOI 10.1068/p140563. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1068/p140563>. Accessed on: 1 Sep. 2020.

HELLER, Morton A. Texture perception in sighted and blind observers. **Perception & Psychophysics**, vol. 45, no. 1, p. 49–54, Jan. 1989b. DOI 10.3758/BF03208032.

Available at: <https://link.springer.com/article/10.3758/BF03208032>. Accessed on: 30 Jul. 2020.

HELLER, Morton A.; KENNEDY, John M. Perspective taking, pictures, and the blind. **Perception & Psychophysics**, vol. 48, no. 5, p. 459–466, Sep. 1990.

<https://doi.org/10.3758/BF03211590>.

HELLER, Morton A.; MCCARTHY, Melissa; CLARK, Ashley. Pattern perception and pictures for the blind. **Psicologica**, vol. 26, no. 1, p. 161–171, 2005. .

HUANG, Po-Hsin; CHIU, Ming-Chuan; HWANG, Sheue-Ling; WANG, Jan-Li.

Investigating E-Learning Accessibility for Visually-Impaired Students: An Experimental Study. **International Journal of Engineering Education**, vol. 31, no. 2, p. 495–504, 2015. .

HYPENESS. A exposição de arte em 3D que permite que pessoas cegas apreciem quadros famosos. 2015a. **Hypeness**. Available at:

<http://www.hypeness.com.br/2015/03/a-exposicao-de-arte-em-3d-que-permite-que-pessoas-cegas-apreciem-quadros>. Accessed on: 21 Mar. 2016.

HYPENESS. Impressora 3d Permite Que Cegos Vejam Obras de Arte Clássica Pela Primeira Vez. 2015b. **Hypeness**. Available at:

<http://www.hypeness.com.br/2015/03/aexposicao-de-arte-em-3d-que-permite-que-pessoas-cegas-apreciem-quadros>. Accessed on: 21 Mar. 2016.

IBGE. **Censo demográfico 2010 : características gerais da população, religião e pessoas com deficiência** (IBGE, ed.). Rio de Janeiro: [s. n.], 2010. Available at:

https://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf.

ISO. **11339:2010 - Adhesives: T-peel test for flexible-to-flexible bonded**

assemblies. 3rd ed. [S. l.]: International Organization for Standardization, 2010.

Available at: <https://www.iso.org/standard/52890.html>. Accessed on: 30 Jun. 2019.

JASP TEAM. Jasp 0.16. 2021. Available at: <https://jasp-stats.org>.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, no. 47, p. 583–621, 1952. .

KUZNETSOV, Vladimir; SOLONIN, Alexey; URZHUMTSEV, Oleg; SCHILLING, Richard; TAVITOV, Azamat; KUZNETSOV, Vladimir E.; SOLONIN, Alexey N.; URZHUMTSEV, Oleg D.; SCHILLING, Richard; TAVITOV, Azamat G. Strength of PLA Components Fabricated with Fused Deposition Technology Using a Desktop 3D Printer as a Function of Geometrical Parameters of the Process. **Polymers**, vol. 10, no. 3, p. 313, 13 Mar. 2018. DOI 10.3390/polym10030313. Available at: <http://www.mdpi.com/2073-4360/10/3/313>. Accessed on: 6 May 2019.

LACEY, Simon; FLUECKIGER, Peter; STILLA, Randall; LAVA, Michael; SATHIAN, K. Object familiarity modulates the relationship between visual object imagery and haptic shape perception. **NeuroImage**, vol. 49, no. 3, p. 1977–1990, 1 Feb. 2010. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2009.10.081>.

LAHAV, Orly; CHAGAB, Nuha; TALIS, Vadim. Use of a sonification system for science learning by people who are blind. **Journal of Assistive Technologies**, vol. 10, no. 4, p. 187–198, 2016. .

LANGELAAR, Matthijs. Topology Optimization For Additive Manufacturing With Controllable Support Structure Costs. 2016. **VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering - ECCOMAS [...]**. Crete Island: [s. n.], 2016. p. 3689–3699. DOI 10.7712/100016.2065.5873. Available at: <https://www.eccomasproceedia.org/conferences/eccomas-congresses/eccomas-congress-2016/2065>. Accessed on: 4 Mar. 2021.

LINO, F Jorge; CAMBOA, Henry; PAIVA, Bárto; NETO, Rui J. Direct conversion of Rapid Prototyping models. 2001. **Proceedings of the First International Materials Symposium (Materials 2001), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra [...]**. [S. l.: s. n.], 2001. p. 9–11.

LOCONSOLE, Claudio; LEONARDIS, Daniele; BERGAMASCO, Massimo; FRISOLI, Antonio. An experimental study on fused-deposition-modeling technology as an alternative method for low-cost Braille printing. 500., 2016. **Advances in Intelligent Systems and Computing** [...]. [S. l.]: Springer Verlag, 2016. vol. 500, p. 201–211. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41962-6_18.

LOUNNAS, Valère; WEDLER, Henry B; NEWMAN, Timothy; SCHAFTENAAR, Gijs; HARRISON, Jason G; NEPOMUCENO, Gabriella; PEMBERTON, Ryan; TANTILLO, Dean J; VRIEND, Gert. Visually impaired researchers get their hands on quantum chemistry: application to a computational study on the isomerization of a sterol. **Journal of computer-aided molecular design**, vol. 28, no. 11, p. 1057–1067, 2014.

LUNET, Nuno; SEVERO, Milton; BARROS, Henrique. Desvio padrão ou erro padrão. **Arquivos de Medicina**, vol. 20, no. 2, 2006. Available at: https://www.researchgate.net/publication/277229911_Desvio_padrao_ou_erro_padrao. Accessed on: 17 Oct. 2021.

MANN, Henry B.; WHITNEY, Donald R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The annals of mathematical statistics**, , p. 50–60, 1947. .

MARCONI, M de A; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia Científica**. 6ª. São Paulo: Atlas São Paulo, 2011. vol. 4, .

MAZELLA, Anaïs; ALBARET, Jean Michel; PICARD, Delphine. Haptic-2D: A new haptic test battery assessing the tactual abilities of sighted and visually impaired children and adolescents with two-dimensional raised materials. **Research in Developmental Disabilities**, vol. 48, p. 103–123, 1 Jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.10.012>.

MAZURCHEVICI, Andrei-Danut; POPA, Ramona-Iuliana; CARAUSU, Constantin; MAZURCHEVICI, Simona-Nicoleta; NEDELICU, Dumitru. Influence of Layer Thickness, Infill Rate and Orientation on Thermal and Structural Loading of FDM Parts. 2021. **Advances in Manufacturing Processes** [...]. Singapore: Springer Singapore, 2021. p. 263–282.

MEI, Hui; YIN, Xiaokang; ZHANG, Jiongjiang; ZHAO, Wenyu. Compressive Properties of 3D Printed Polylactic Acid Matrix Composites Reinforced by Short Fibers and SiC Nanowires. **Advanced Engineering Materials**, vol. 21, no. 5, p. 1–5, 10 May 2019. DOI 10.1002/adem.201800539. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adem.201800539>. Accessed on: 4 Mar. 2021.

MELLO, Carlos H. P.; SILVA, Carlos E. S.; SEBASTIÃO, Carlos C. Comparação de três diferentes tecnologias de prototipagem rápida em relação a critérios de custo e tempo. 2006. **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção** [...]. Fortaleza: [s. n.], 2006. p. 1–8.

MULTIPLANO. 2020. Available at: <http://multiplano.com.br/>. Accessed on: 5 Feb. 2020.

MURPHY, Sean V.; ATALA, Anthony. 3D bioprinting of tissues and organs. **Nature Biotechnology**, vol. 32, no. 8, p. 773–785, 5 Aug. 2014. DOI 10.1038/nbt.2958. Available at: <https://www.nature.com/articles/nbt.2958>. Accessed on: 15 Apr. 2021.

NAMDEV, Rahul Kumar; MAES, Pattie. An interactive and intuitive stem accessibility system for the blind and visually impaired. 2015. **Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments** [...]. [S. l.: s. n.], 2015. p. 20.

OLIVEIRA, Mônica Silva de; DE SÁ, Pablo Henrique C. Gomes; ALVES, Jorianne Thyeska Castro; VERAS, Adonney A. de Oliveira. Tecnologias Assistivas para Auxiliar o Ensino de Genética para Pessoas com Deficiência Visual: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **Tecnologia assistiva: abordagens teóricas**. 1st ed. Bauru: Canal 6, 2021. p. 169–178.

OROPALLO, William; PIEGL, Les A. Ten challenges in 3D printing. **Engineering with Computers**, vol. 32, no. 1, p. 135–148, 12 Jan. 2016. DOI 10.1007/s00366-015-0407-0. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00366-015-0407-0>. Accessed on: 29 Jul. 2018.

PAN, Aiqiong; HUANG, Zifan; GUO, Ruijie; LIU, Jun. Effect of FDM process on adhesive strength of polylactic acid(PLA) filament. **Key Engineering Materials**, vol. 667, p. 181–186, 2016. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.667.181>.

QIAN, Xiaoping. Undercut and overhang angle control in topology optimization: A density gradient based integral approach. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, vol. 111, no. 3, p. 247–272, 20 Jul. 2017. DOI 10.1002/nme.5461. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/nme.5461>. Accessed on: 4 Mar. 2021.

RAYNA, Thierry; STRIUKOVA, Ludmila. From rapid prototyping to home fabrication How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, vol. 102, p. 214–224, 1 Jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>.

ROSCH, Eleanor; MERVIS, Carolyn B.; GRAY, Wayne D.; JOHNSON, David M.; BOYES-BRAEM, Penny. Basic objects in natural categories. **Cognitive Psychology**, vol. 8, no. 3, p. 382–439, 1 Jul. 1976. DOI 10.1016/0010-0285(76)90013-X. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001002857690013X>. Accessed on: 28 Apr. 2021.

ROWE, Edward J.; PAIVIO, Allan. Imagery and repetition instructions in verbal discrimination and incidental paired-associate learning. **Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior**, vol. 10, no. 6, p. 668–672, 1 Dec. 1971. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(71\)80073-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(71)80073-7).

SACHS, Emanuel; CIMA, Michael; CORNIE, James; BRANCAZIO, David; BREDT, Jim; CURODEAU, Alain; FAN, Tailin; KHANUJA, Satbir; LAUDER, Alan; LEE, John; MICHAELS, Steve. Three-Dimensional Printing: The Physics and Implications of Additive Manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, vol. 42, no. 1, p. 257–260, 1 Jan. 1993. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62438-X](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62438-X).

SANATGAR, Razieh Hashemi; CAMPAGNE, Christine; NIERSTRASZ, Vincent. Investigation of the adhesion properties of direct 3D printing of polymers and nanocomposites on textiles: Effect of FDM printing process parameters. **Applied Surface Science**, vol. 403, p. 551–563, 2017. DOI 10.1016/j.apsusc.2017.01.112. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.112>.

SANCHES, Emilia Christie Picelli; BUENO, Juliana; DE MACEDO, Claudia Mara Scudelari. Imagens táteis tridimensionais: um modelo para a tradução tátil a partir de imagens estáticas bidimensionais. **Brazilian Journal of Information Design**, vol. 14, no. 2, p. 234–252, 2017. Available at: <https://go-gale.ez16.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE%7CA524939243&v=2.1&it=r>.

SASS, Larry; OXMAN, Rivka. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, vol. 27, no. 3, p. 325–355, 1 May 2006. DOI 10.1016/J.DESTUD.2005.11.009. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X05000864?via%3Dihub>. Accessed on: 29 Jul. 2018.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, vol. 52, no. 3/4, p. 591–611, 1965. .

SHEN, Huiying; EDWARDS, Owen; MIELE, Joshua; COUGHLAN, James M. CamIO: a 3D computer vision system enabling audio/haptic interaction with physical objects by blind users. 2013. **Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility [...]**. [S. l.: s. n.], 2013. p. 41.

SMITH, Taliesin L; LEWIS, Clayton; MOORE, Emily B. Demonstration: Screen Reader Support for a Complex Interactive Science Simulation. 2016. **Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility** [...]. [S. l.: s. n.], 2016. p. 319–320.

SNODGRASS, Joan G.; VANDERWART, Mary. A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. **Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory**, vol. 6, no. 2, p. 174–215, Mar. 1980. DOI 10.1037/0278-7393.6.2.174. Available at: <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/0278-7393.6.2.174>. Accessed on: 3 Mar. 2020.

SORGE, Volker; LEE, Mark; WILKINSON, Sandy. End-to-end solution for accessible chemical diagrams. 2015. **Proceedings of the 12th Web for All Conference** [...]. [S. l.: s. n.], 2015. p. 6.

SPIRANDELLI, Antônio José; LIBÓRIO, Flavia Heloisa Vizioli; MONTEIRO, Reverson Tadeu; MEDOLA, Fausto Orsi; DOMICIANO, Cassia Letícia Carrara. Revisão sistemática da literatura sobre Design de sinalização e autonomia das pessoas com eficiência visual. **Tecnologia assistiva: abordagens teóricas**. 1st ed. Bauru: Canal 6, 2021. p. 42–49.

ST, Lars; WOLD, Svante. Analysis of variance (ANOVA). **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, vol. 6, no. 4, p. 259–272, 1989. DOI [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(89\)80095-4](https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0169743989800954>.

STANGL, Abigale; HSU, Chia-Lo; YEH, Tom. Transcribing Across the Senses. 2015. **Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility - ASSETS '15** [...]. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. p. 127–137. DOI 10.1145/2700648.2809854. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2700648.2809854>. Accessed on: 29 Jul. 2018.

STUDENT, A. The probable error of a mean. **Biometrika**, vol. 6, p. 1–25, 1908. .

SUPALO, Cary A; ISAACSON, Mick D; LOMBARDI, Michael V. Making hands-on science learning accessible for students who are blind or have low vision. **Journal of Chemical Education**, vol. 91, no. 2, p. 195–199, 2013. .

SWAMINATHAN, Saiganesh; ROUMEN, Thijs; KOVACS, Robert; STANGL, David; MUELLER, Stefanie; BAUDISCH, Patrick. Linespace: A sensemaking platform for the blind. 2016. **Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems** [...]. [S. l.: s. n.], 2016. p. 2175–2185.

TEIXEIRA, João Marcelo; BARROS, Gutenberg X. S.; TEICHRIB, Veronica; CORREIA, Walter Franklin. 3D Printing as a Means for Augmenting Existing Surfaces. 2016. **Proceedings - 18th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2016** [...]. Gramado: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. p. 24–28. DOI 10.1109/SVR.2016.15. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7517249/>.

TRIOLA, Mário F. **Introdução à estatística**. 9th ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

TSENG, Mitchell M.; JIAO, Jianxin; MERCHANT, M. Eugene. Design for Mass Customization. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, vol. 45, no. 1, p. 153–156, 1 Jan. 1996. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63036-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63036-4).

TURNER, Brian N.; STRONG, Robert; GOLD, Scott A. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. **Rapid Prototyping Journal**, vol. 20, no. 3, p. 192–204, 2014. <https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2013-0012>.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

WELCH, B. L. The generalization of "Student's problem when several different population variances are involved. **Biometrika**, vol. 34, no. 1–2, p. 28–35, 1947. DOI 10.1093/biomet/34.1-2.28. Available at: <https://academic.oup.com/biomet/article-abstract/34/1-2/28/210174?redirectedFrom=fulltext>.

WILCOXON, Frank. Some uses of statistics in plant pathology. **Biometrics Bulletin**, vol. 1, no. 4, p. 41–45, 1945. .

ZEBEHAZY, K.T.; WILTON, A.P. Straight from the source: Perceptions of students with visual impairments about graphic use. **Journal of Visual Impairment and Blindness**, vol. 108, no. 4, p. 275–286, 2014. .

ZHANG, Ting; DUERSTOCK, Bradley S; WACHS, Juan P. Multimodal Perception of Histological Images for Persons Who Are Blind or Visually Impaired. **ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)**, vol. 9, no. 3, p. 7, 2017. .