

Antônio José Spirandelli, Erica Tiemi Tobaró, Cassia Leticia Carrara Domiciano, Fausto Orsi Medola, Luis Carlos Paschoarelli \*

\* **Antônio José Spirandelli.** Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Design pela Unesp - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, na linha de pesquisa Planejamento de Produto. Mestre em Design pela UNESP (2022). Bacharel em Design de Produto (2011) e Design Gráfico (2012) pela UNESP. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Processo nº 88887.803856/2023-00. Tem experiência profissional nas áreas de Design Gráfico e Ilustração Editorial e pesquisa nas áreas de Design Gráfico e Design Inclusivo. Faz parte do Grupo de Pesquisa Design Gráfico Inclusivo: visão, audição e linguagem.

<antonio.spirandelli@unesp.br>

ORCID 0000-0001-8148-2352

**Erica Tiemi Tobaró.** Mestranda pelo Programa de Pós-graduação em Design, pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, na linha de pesquisa Ergonomia. É bolsista FAPESP Mestrado Acadêmico (Processo 2023/11155-7). Graduada em Design, com habilitação em Design de Produto, pela UNESP. Foi bolsista de Iniciação Científica FAPESP (Processo 2019/20433-5), desenvolvida no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos (CADEP) e no Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI). Atua na área de Design de Produto, com ênfase em Ergonomia, Design Centrado no Usuário, Usabilidade, Design Inclusivo, Tecnologia Assistiva, Impressão 3D e Prototipagem Rápida.

<erica.tobaro@unesp.br>

ORCID 0009-0008-5783-2234

# Percepção háptica de texturas: a influência de diferentes materiais usados em impressão 3D

## Resumo

A impressão 3D tem potencial no design inclusivo, com sistemas hápticos beneficiando pessoas com deficiência visual (PcDVs), destacando controle e rapidez na produção. Entretanto, há pouca compreensão sobre a percepção háptica ao interagir com diferentes materiais. O presente estudo objetivou verificar se o emprego dos materiais PLA, PETG e TPU na impressão 3D afeta a percepção háptica de texturas. Foi realizado um experimento com 50 participantes videntes, mas que utilizaram exclusivamente o sentido háptico, e cuja tarefa, ocultada por uma barreira visual, foi ordenar cinco amostras de cada um dos materiais (de menor para maior densidade de textura). O TPU mostrou melhores resultados em eficácia (mais acertos) e capacidade significativa ( $p \leq 0,05$ ) na percepção háptica de diferentes densidades de textura; e o PETG foi eficiente em termos de tempo. Apesar de ser recomendado para sistemas hápticos, o PLA teve resultados inferiores, sugerindo que a escolha do material em impressão 3D deve considerar a qualidade da percepção háptica dos usuários.

**Palavras-chave** Impressão 3D, Percepção háptica, Deficiência visual, Design Inclusivo.

**Cassia Leticia Carrara Domiciano.** Designer gráfica e Professora na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), onde dá aulas na graduação em Design desde 1995 e na pós-graduação desde 2013. É Livre Docente em Design Gráfico e Editorial pela Unesp (2020), tendo feito seu doutorado em Comunicação Visual e Expressão Plástica pela Universidade do Minho, Portugal (2008). É bacharel e mestre em Desenho Industrial, também pela UNESP. Coordena desde 2001 o Laboratório de Design Gráfico Inky Design. Tem experiência em Projetos em Design, atuando principalmente com identidade visual, design editorial impresso e digital, livros infantis, além de design gráfico inclusivo.  
<cassia.carrara@unesp.br>  
ORCID 0000-0001-6497-2210

**Fausto Orsi Medola.** Professor Associado do Departamento de Design e Programa de Pós-graduação em Design - FAAC/UNESP, campus Bauru. É Livre-Docente em Tecnologia Assistiva pela UNESP, Mestre e Doutor em Ciências pelo Programa de Pós-graduação Interunidades Bioengenharia - EESC/FMRP/IQSC - USP, com estágio de doutorado sanduíche na Georgia Institute of Technology, Atlanta, EUA. Possui graduação em Fisioterapia pela Universidade Estadual de Londrina. É líder do Grupo de Pesquisa Design e Tecnologia Assistiva, realizando pesquisas na área de Desenho Industrial, Design de Produto e Ergonomia, atuando principalmente nos temas: Tecnologia Assistiva, Biomecânica, Mobilidade, Cadeira de Rodas, Acessibilidade e Design Inclusivo. <fausto.medola@unesp.br>  
ORCID 0000-0003-2308-6524

## Haptic perception of textures: the influence of different materials used in 3D printing

**Abstract** *3D printing has potential in inclusive design, with haptic systems benefiting people with visual impairments (PwDVs), highlighting control and speed in production. However, there is little understanding about haptic perception when interacting with different materials. The present study aimed to verify whether the use of PLA, PETG and TPU materials in 3D printing affects the haptic perception of textures. An experiment was carried out with 50 sighted participants, but who used exclusively the haptic sense, and whose task, hidden by a visual barrier, was to order five samples of each of the materials (from lowest to highest texture density). The TPU showed better results in effectiveness (more correct answers) and significant capacity ( $p \leq 0.05$ ) in the haptic perception of different texture densities; and PETG was time-efficient. Despite being recommended for haptic systems, PLA had inferior results, suggesting that the choice of material in 3D printing must consider the quality of users' haptic perception.*

**Keywords** *3D Printing, Tactile Perception, Visual Impairments, Inclusive Design.*

## Percepción háptica de las texturas: influencia de los distintos materiales utilizados en la impresión 3D

**Resumen** *La impresión 3D tiene potencial en el diseño inclusivo, con sistemas hápticos que benefician a las personas con discapacidad visual (PcDV), destacando el control y la velocidad en la producción. Sin embargo, hay poca comprensión sobre la percepción háptica al interactuar con diferentes materiales. El presente estudio tuvo como objetivo verificar si el uso de materiales PLA, PETG y TPU en la impresión 3D afecta la percepción háptica de las texturas. Se llevó a cabo un experimento con 50 participantes videntes, pero que utilizaban exclusivamente el sentido háptico, y cuya tarea, ocultos por una barrera visual, era ordenar cinco muestras de cada uno de los materiales (de menor a mayor densidad de textura). El TPU mostró mejores resultados en efectividad (más respuestas correctas) y capacidad significativa ( $p \leq 0,05$ ) en la percepción háptica de diferentes densidades de textura; y PETG ahorró tiempo. A pesar de ser recomendado para sistemas hápticos, el PLA tuvo resultados inferiores, lo que sugiere que la elección del material en la impresión 3D debe considerar la calidad de la percepción háptica de los usuarios.*

**Palabras clave** *Impresión 3D, Percepción táctil, Deficiencias visuales, Diseño inclusivo.*

**Luis Carlos Paschoarelli.** Professor Titular no Departamento de Design da UNESP (desde 2017), Livre-Docente em Design pela UNESP (2009); possui Pós-doutorado em Ergonomia (2008) e Design (2024) pela ULISBOA; Doutorado em Engenharia de Produção (2003) pela UFSCar; Mestrado (1997) e Graduação (1994) em Desenho Industrial pela UNESP. Co-lider no Grupo de Pesquisa “Design Ergonômico: Projeto e Interfaces”. Atua no Departamento de Design e Laboratório de Ergonomia e Interfaces, como docente no curso de graduação em Design e do Programa de Pós-graduação (mestrado e doutorado) em Design da UNESP e é Bolsista PQ-CNPq. Tem experiência na área do design, ergonomia, design ergonômico, design de produto e design gráfico.

<luis.paschoarelli@unesp.br>

ORCID 0000-0002-4685-0508

## Introdução

A participação social e a independência das Pessoas com Deficiência Visual (PcDVs) dependem, entre outros fatores, de sua capacidade de orientação e mobilidade espacial, as quais podem ser otimizadas por sistemas de comunicação háptico, ou tátil. Tais sistemas devem garantir a qualidade da legibilidade, da decodificação e da interpretação, evitando-se que haja ambiguidade na informação transmitida, o que pode prejudicar a experiência destes indivíduos (SILVA; PASCHOARELLI, 2018).

Nestes sistemas, a superfície dos materiais atua como uma interface, visto que a transmissão de informações ocorre por meio de texturas (PHUTANE, et al. 2022). Logo, a natureza desta superfície tem um impacto significativo na comunicação háptica, a depender do material selecionado para a mesma (MANZINI, 1989). Apesar de ser um sistema sensorial alternativo à visão, o processamento de informações por meio do tato requer mais tempo e resulta em uma compreensão sequencial das informações; e por esta razão, pode ser difícil às PcDVs a compreensão, por exemplo, de relações espaciais, entre outras.

De modo geral, simplesmente duplicar uma representação planejada para a percepção visual em elementos hápticos, não atende às necessidades das PcDVs (CARDEAL, 2008). Assim, um dos desafios nos campos do Design Inclusivo refere-se à transcrição de informações visuais em símbolos hápticos. Um artefato que habitualmente apresenta problemas desta natureza são os mapas táteis, os quais estiveram dependentes de técnicas artesanais de modelagem, incluindo a termoformagem, o que implica em imprecisão dos símbolos hápticos utilizados. Neste sentido, os fatores mais importantes para a correta localização e identificação dos símbolos utilizados são o tamanho, a forma e a textura. Portanto, a inclusão de símbolos volumétricos nos mapas tem, de maneira geral, um efeito positivo, visto que aumenta a variedade de formas e atributos táteis, tais como o contraste de alturas (GUAL; PUYUELO; LLOVERAS, 2015). Ao empregar estes símbolos, constata-se uma redução do tempo que o usuário gasta para encontrá-los, sem assistência auditiva, com mais eficiência e redução de possíveis situações constrangedoras (GUAL; PUYUELO; LLOVERAS, 2013). Logo, os sistemas de comunicação hápticos produzidos em impressão 3D, apresentam uma vantagem sobre aqueles produzidos em termoformagem: clareza dos símbolos, evidenciando uma melhor precisão geométrica e resolução; melhor percepção háptica das formas; e produção de ícones mais intuitivos.

Outro ponto positivo é a melhora do processo de memorização de símbolos hápticos. Holloway, Marriott e Butler (2018) identificaram que o uso de impressão 3D nestes sistemas, permitiu um modelo mental mais detalhado do ambiente, além de um ganho de precisão em relação à memorização dos layouts. Outro importante contributo, é que torna-se possível produzir geometrias complexas, como por exemplo, elevações suficientes para acentuar

o efeito de diferentes alturas entre os símbolos; além de ser possível utilizar a impressão 3D em legendas táteis, as quais podem ser percebidas pelo toque e associadas através de seus atributos específicos de volume e forma (GUAL; PUYUELO; LLOVERAS, 2013).

Para além dos atributos de interação, outra vantagem da impressão 3D é que, com o avanço do movimento maker, equipamentos de prototipagem rápida se popularizaram e, como consequência, os valores para a produção deste tipo de equipamento foram reduzidos (FROSCHE, 2021). Isto contribuiu para popularizar a impressão 3D e possibilitar a confecção mais rápida e barata.

Na prática, a impressão 3D é umas das tecnologias de prototipagem rápida que tem se destacado por possibilitar agilidade na confecção de protótipos, a partir de um modelo geométrico 3D desenvolvido ou traduzido para um sistema Computer Aided Design (CAD), o qual direciona a adição sucessiva de camadas de determinado material, em diferentes formatos (VOLPATO e CARVALHO, 2017).

Entre os diversos princípios de impressão 3D, estabelecidos pela norma ISO/ASTM 52900:2015 (ISO, 2016), o mais popular e de baixo custo é o de extrusão de material termoplástico, conhecido por Fused Filament Fabrication (FFF). Entre os materiais empregados, se destacam: o Ácido Polilático (PLA), um bioplástico sintetizado a partir de fontes renováveis como o açúcar de milho, batata e cana de açúcar; o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), um termoplástico rígido conhecido pela resistência de impactos; o Politereftalato de Etileno modificado com Glycol (PETG), conhecido como um material que reúne as melhores características do ABS (resistente e dúctil) com a facilidade de impressão do PLA (SANTANA et al., 2018); e o Poliuretano Termoplástico (TPU), um material flexível de natureza elástica, com características parecidas com as da borracha. No desenvolvimento de mapas táteis (incluindo uma infinidade de produtos assistivos), a impressão 3D pode ser considerada uma tecnologia com grande potencial, visto que apresenta várias vantagens em relação às outras tecnologias disponíveis. Por outro lado, apesar do potencial da impressão 3D nesse contexto, observa-se que poucos estudos investigaram a interação com texturas obtidas por meio da impressão 3D, considerando o emprego de diferentes materiais. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi analisar a percepção háptica de texturas produzidas com diferentes materiais (pela técnica de FFF), buscando identificar quais deles proporcionam melhor eficácia, eficiência e qualidade da percepção háptica entre as diferentes densidades de texturas.

## **Materiais e Métodos**

### **Características do Estudo e Aspectos Éticos**

Este estudo caracterizou-se por uma abordagem quali-quantitativa, de caráter exploratório, experimental e aplicado, envolvendo a coleta e análise

de dados em situações laboratoriais (controladas). Por envolver a participação de seres humanos, adultos e independentes, o presente estudo seguiu alguns pressupostos da Resolução 510/2016, CONEP-CNS-MS (BRASIL, 2016), a qual dispõe sobre os cuidados éticos dos estudos em Ciências Humanas e Sociais, com aplicação de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE); e controle da integridade dos participantes.

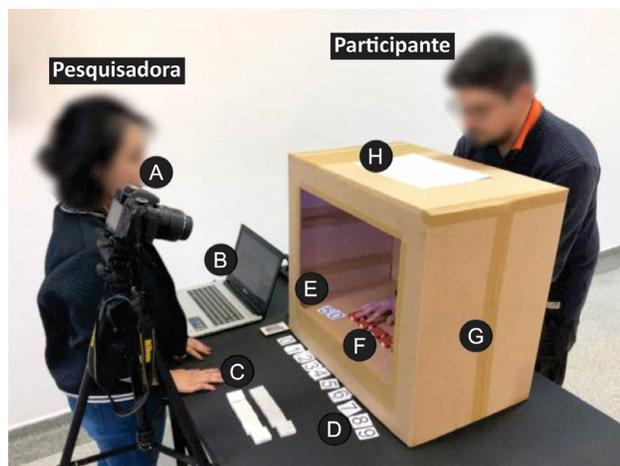
## Amostragem

Participaram do estudo 50 indivíduos adultos, com idade média de 20,08 anos (d.p. 1,60 anos), sendo 16 do gênero masculino e 33 do gênero feminino. Todos os participantes eram autônomos e independentes, estudantes matriculados em cursos de graduação das áreas das Ciências Humanas, da [OMITIDO PARA REVISÃO CEGA].

Como critério de inclusão, considerou-se a participação exclusiva de indivíduos videntes, visto que a percepção háptica (objeto de análise) não é integradora como a visão, contribuindo de forma independente, com informações para a percepção de texturas (WHITAKER; SIMÕES-FRANKLIN; NEWELL, 2008). Além disso, foram evitados os riscos éticos de transferir indivíduos PcDVs para um ambiente laboratorial. Já como critério de exclusão, anteriormente ao estudo, os participantes não poderiam ter realizado treinamentos de interação háptica e não poderiam ter contato visual com as texturas avaliadas.

## Instrumentos

Foram utilizados os seguintes instrumentos (Figura 1): câmera fotográfica com tripé (A); notebook (B); amostras impressas em 3D (C e F); fichas com números para identificação dos participantes (D e E); cabine de avaliação de percepção háptica (G); ficha com instruções para os avaliadores (H); e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).



**FIGURA 1:** Local de coleta de dados, com uma pesquisadora, um participante e os instrumentos: câmera fotográfica com tripé (A); notebook (B); amostras impressas em 3D (C e F); fichas com números para identificação dos participantes (D e E); cabine de avaliação de percepção háptica (G); ficha com instruções para os avaliadores (H).

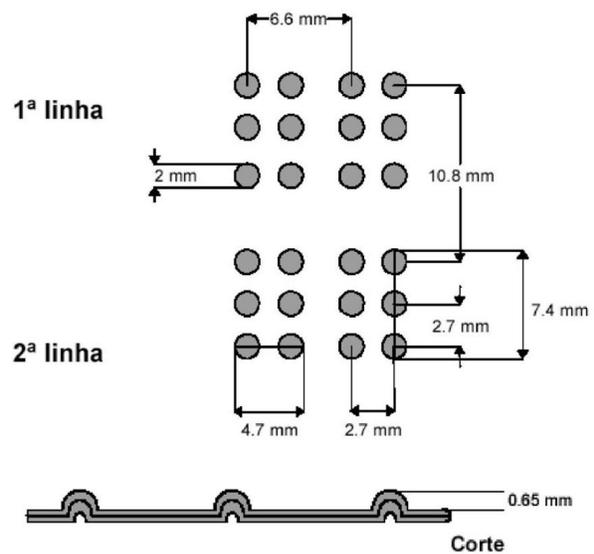
**Fonte:** Autores, 2023.

## Amostras impressas em 3D

Todas as amostras impressas em 3D foram desenvolvidas e confeccionadas com dimensões de 40mm x 40mm de área de contato e 10mm de altura. As texturas foram desenvolvidas a partir das especificações apresentadas pela resolução CPA/SEHAB-G/004/2000 (PMSP, 2000), referentes à aplicação da linguagem Braille em botoeiras de elevadores.

**FIGURA 2:** Norma técnica para a linguagem Braille nos elevadores.

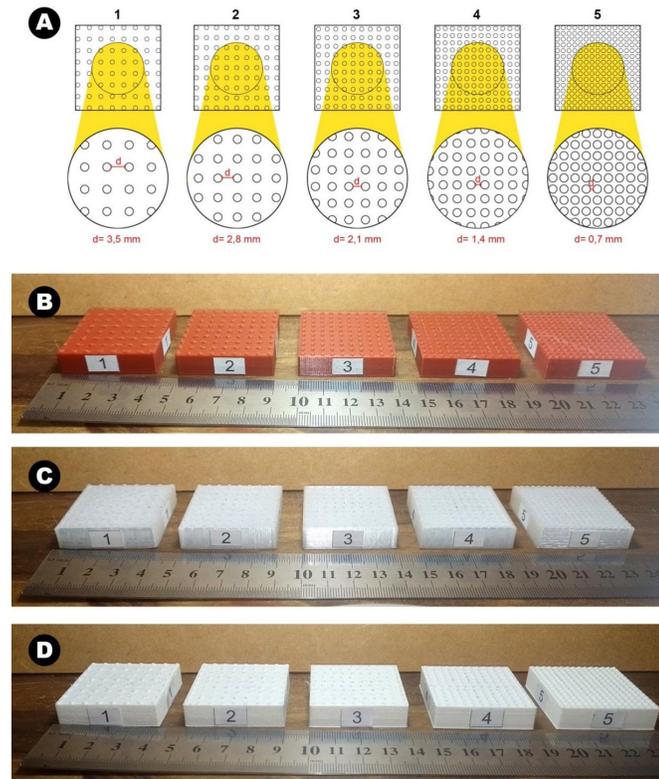
**Fonte:** Figuras 2 e 3 da Resolução CPA/SEHAB-G/004/2000 (PMSP, 2000).



As diferentes densidades das texturas foram definidas pelo aumento das distâncias entre os pontos (Figura 3-A). A amostra de número 5 segue a distância padrão entre pontos de 0,7 mm especificada pela resolução CPA/SEHAB-G/004/2000 (PMSP, 2000). Para as demais amostras a distância entre os pontos foi aumentada em 0,7 mm a partir da referência da amostra padrão (de número 5). Assim as amostras foram numeradas, onde a de número 1 apresenta a menor densidade da textura (3,5 mm de intervalo entre os pontos), enquanto a número 5 apresenta a maior densidade (0,7 mm de intervalo entre os pontos). Foram impressas amostras para cada um dos materiais de filamento (PLA - Figura 3-B; PETG - Figura 3-C; e TPU - Figura 3-D) com as cinco diferentes densidades de textura. Tais texturas foram criadas no software Adobe Illustrator® e, após os ajustes na disposição dos pontos, foram modeladas utilizando o Solidworks®. Os arquivos finais para impressão 3D foram configurados no UltiMaker Cura®, com os parâmetros utilizados para cada material (Tabela 1). Para a impressão 3D das amostras dos materiais e texturas, foi utilizada a impressora Creality Ender 3, instalada e disponível no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos (CADEP), do Departamento de Design da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC) – UNESP Campus de Bauru.

**FIGURA 3:** Detalhamento das densidades das texturas (A); amostras em PLA (B); amostras em PETG (C); e amostras em TPU (D).

**Fonte:** Autores, 2023.



**TABELA 1:** Parâmetros de Impressão 3D empregados na impressão das amostras

**Fonte:** Autores, 2023.

Parâmetros	PLA	PETG	TPU
Temperatura do Bico	210°C	240°C	210°C
Temperatura da Mesa	60°C	80°C	60°C
Altura da Camada	0,2mm	0,2mm	0,2mm
Perímetro	3	3	3
Camada de Topo	4	4	4
Preenchimento	15%	15%	15%
Padrão de Preenchimento	Gyroid	Gyroid	Gyroid
Velocidade de Impressão	50mm/s	50mm/s	50mm/s

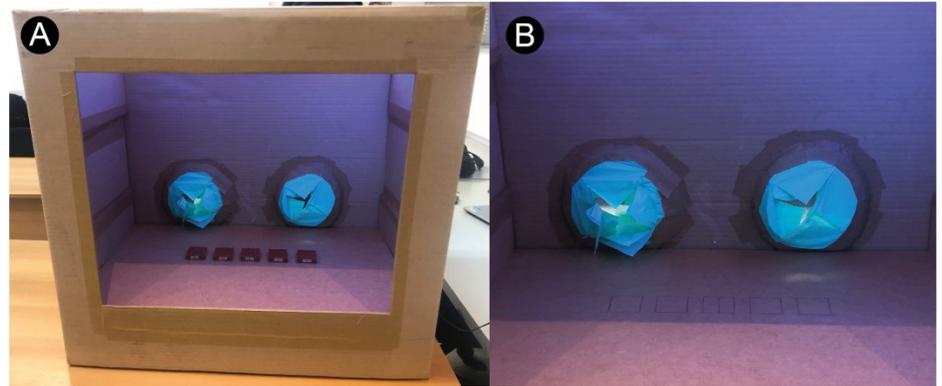
## Cabine de avaliação

Considerando que os participantes eram indivíduos videntes, foi confeccionada uma cabine de avaliação de percepção háptica com barreira visual (Figura 1), em papelão ondulado e dimensões 585mm x 385mm x 615mm. A face posterior apresentava duas aberturas (150mm de diâmetro) para a inserção e posicionamento dos antebraços e mãos dos participantes. A face anterior apresentava abertura retangular (380mm X 475mm) necessária para o controle do pesquisador e registro em vídeo dos procedimentos (Figura 4-A).

No interior foi posicionada uma plataforma de análise, com as marcações de posicionamento das amostras (Figura 4-B).

**FIGURA 4:** Cabine de avaliação, com abertura retangular na parte anterior (A); e interior com marcação de posicionamento das amostras (B).

**Fonte:** Autores, 2023.



## Protocolo

Considerando o propósito em avaliar a percepção háptica das diferentes texturas impressas (em diferentes materiais), propôs-se um teste de ordenação, preconizado por Esteves (2009), Hough (2010) e Dutcosky (2011), o qual teve por propósito comparar diferentes amostras no que diz respeito a um único atributo. Particularmente no caso do presente estudo, os participantes ordenaram as amostras apresentadas de cada material (PLA, PETG e TPU) em função da densidade da textura (atributo), ou seja, da menor densidade (maior distância entre os pontos) para a maior densidade (menor distância entre os pontos).

A ordem de apresentação dos materiais foi randomizada e organizada em seis grupos (Tabela 2). Da mesma forma, a sequência de organização das texturas foi randomizada em quatro grupos. Nos grupos A e B as amostras com densidades de texturas menos similares foram apresentadas de maneira que ficassem próximas na plataforma de avaliação, enquanto nos grupos C e D as amostras com maior similaridade de densidade foram posicionadas de modo mais próximo (Tabela 3).

**TABELA 2:** Ordem de apresentação dos materiais.

**Fonte:** Autores, 2023.

GRUPOS	ORDEM DOS MATERIAIS		
	Primeiro	Segundo	Terceiro
1	PLA	PETG	TPU
2	PLA	TPU	PETG
3	PETG	PLA	TPU
4	PETG	TPU	PLA
5	TPU	PLA	PETG
6	TPU	PETG	PLA

**TABELA 3:** Sequência de organização das texturas.

**Fonte:** Autores, 2023.

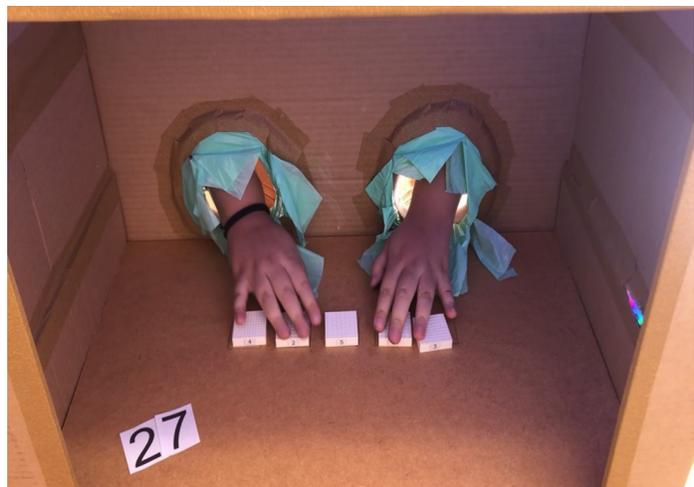
GRUPOS	SEQUÊNCIA DAS TEXTURAS				
A	3	1	5	2	4
B	4	2	5	1	3
C	2	1	3	5	4
D	4	5	3	1	2

### Procedimentos metodológicos

O experimento ocorreu no Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI), da FAAC-UNESP Bauru, de modo individual. O participante recebeu informações sobre os objetivos e riscos do estudo, bem como TCLE, o qual foi lido, preenchido e assinado. Na sequência, o participante foi convidado a se posicionar diante da cabine de avaliação, de tal maneira que colocasse as mãos e antebraços nas aberturas na face posterior e aguardasse o comando para iniciar a ordenação da amostra posicionada na plataforma (Figura 5). O procedimento se repetia com as amostras dos demais materiais. Durante todo o experimento o participante deveria manter antebraços e mãos nas aberturas da face anterior, retirando-os somente após a interação com todas as amostras, para os três materiais.

**FIGURA 5:** Avaliação háptica (sob o ponto de vista da câmera fotográfica - Figura 1-1).

**Fonte:** Autores, 2023.



A análise do tempo considerou como início da atividade o momento em que o participante tocava as amostras. O tempo de ordenação e a ordem final de posicionamento de cada material foram anotados em uma planilha. Todo o procedimento foi gravado em vídeo a fim de, posteriormente, conferir o tempo e se houve alguma anormalidade durante o experimento.

## Análise dos dados

A análise dos dados avaliou, para cada material (PLA, PETG e TPU), a eficácia a partir da porcentagem de acertos/erros na ordenação das amostras; e a eficiência a partir da média dos tempos (em segundos) para a conclusão da atividade.

Considerando a possibilidade de ocorrência de diferenças significativas entre as médias dos tempos, foi empregado o software JASP 016.2.0 e aplicado o teste de Shapiro-Wilk para verificar os pressupostos de normalidade ( $p > 0,05$ ); e em seguida aplicado o Test-t, com nível de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ ).

Também foram aplicadas comparações múltiplas entre amostras, em um painel sensorial preconizado por Christensen et al. (2006). Esta análise foi útil para comparar as amostras de diferentes densidades de textura, para cada material (PLA, PETG e TPU). Ou seja, comparou-se a maior diferença entre as somas de classificação de cada conjunto, a partir do “índice crítico” de Diferença Mínima Significativa (DMS) (Christensen et al. 2006, p. 139), com nível de significância de 95%. Portanto, se as diferenças entre as somas de classificação de duas densidades, divergirem deste valor crítico 31 (Figura 6), confirma-se a diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre elas.

FIGURA 6: À esquerda, esquema das diferenças entre as somas de classificação de cada conjunto amostral; à direita, destaque da Tabela 6 (p. 139, Christensen et al. 2006) de comparações múltiplas, com indicação do valor crítico ('31').

Fonte: Autores, 2003; e Christensen et al., 2006.

		Material				
$\Sigma$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 3$	$\Sigma 4$	$\Sigma 5$	
	1	2	3	4	5	
1	-	$\Sigma 2 - \Sigma 1$	$\Sigma 3 - \Sigma 1$	$\Sigma 4 - \Sigma 1$	$\Sigma 5 - \Sigma 1$	
2	-	-	$\Sigma 3 - \Sigma 2$	$\Sigma 4 - \Sigma 2$	$\Sigma 5 - \Sigma 2$	
3	-	-	-	$\Sigma 4 - \Sigma 3$	$\Sigma 5 - \Sigma 3$	
4	-	-	-	-	$\Sigma 5 - \Sigma 4$	

**Table 6—Multiple comparisons**  
Critical values of differences between rank sums,  $P = 0.05$

Nr of panelists	Nr of samples							
	3	4	5	6	7	8		
20	12	16	20	23	27	30		
21	13	16	20	24	27	31		
22	13	17	21	24	28	32		
23	13	17	21	25	29	33		
24	13	18	21	25	29	33		
25	14	18	22	26	30	34		
26	14	18	22	26	30	34		
27	14	19	23	27	31	35		
28	15	19	23	28	32	36		
29	15	19	24	28	32	36		
30	15	19	24	28	32	36		
31	15	20	24	29	33	38		
32	16	20	25	29	34	38		
33	16	21	25	30	34	39		
34	16	21	25	30	35	39		
35	16	21	26	31	36	40		
36	17	22	26	31	36	41		
37	17	22	27	31	36	41		
38	17	22	27	32	37	42		
39	17	22	27	32	37	42		
40	17	23	28	33	38	43		
41	18	23	28	33	38	43		
42	18	23	28	33	39	44		
43	18	23	29	34	39	44		
44	18	24	29	34	40	45		
45	19	24	29	35	40	46		
46	19	24	30	35	40	46		
47	19	24	30	35	41	46		
48	19	25	30	36	41	47		
49	19	25	30	36	42	48		
50	19	25	31	37	42	48		
51	20	26	31	37	43	48		

## Resultados

Com relação aos resultados de eficácia da tarefa, para cada material (Tabela 4), observou-se que as amostras impressas com TPU obtiveram os melhores índices: 69,61% de acertos (30,39% de erros), enquanto as amostras impressas com PETG e PLA apresentaram, respectivamente, 62,99% de acertos (37,01% de erros) e 57,48% de acertos (42,52% de erros). Com relação à eficiência da tarefa, para cada material (Tabela 5), as amostras em PETG apresentaram melhores resultados (média: 52,62 segundos, d.p.: 17,51 segundos) quando comparadas

às produzidas em PLA (59,52 segundos, d.p. 22,25), ocorrendo diferença significativa ( $p=0,031$ ) neste caso. O resultado do TPU (55,46 segundos, d.p. 24,31) foi intermediário.

**TABELA 4:** Resultados referentes à Eficácia (em porcentagem) para cada material. Os valores em amarelo indicam piores índices; os valores em azul indicam os melhores índices. **Fonte:** Autores, 2023.

EFICÁCIA	PLA	PETG	TPU
Acertos (%)	57,48	62,99	69,61
Erros (%)	42,52	37,01	30,39

**TABELA 5:** Resultados referentes à Eficiência (média e desvio padrão) para cada material. Os valores em amarelo indicam piores índices; os valores em azul indicam os melhores índices. **Fonte:** Autores, 2023.

EFICIÊNCIA	PLA	PETG	TPU
Tempo médio (s)	59,52 (22,25)	52,60 (17,67)	56,60 (24,83)
$p$ (Teste $t$ )	0,031		

Com relação à percepção háptica entre as diferentes densidades de textura, os resultados das comparações múltiplas (Tabela 6) apontaram que tanto o material PLA, quanto o material PETG, apresentaram valores críticos (respectivamente 25 e 27) menores que o estabelecido (31), na comparação entre as densidades “1” e “2”. Isto representa que não houve diferenças significativas ( $p>0,05$ ) na percepção háptica entre estas densidades. Todas as demais comparações apresentaram valores críticos maiores e, portanto, confirmaram a diferença significativa ( $p\leq 0,05$ ) na percepção háptica entre as densidades. Apenas o material TPU apresentou valores superiores ao crítico (31), na comparação entre todas as densidades. Para este material, os participantes conseguiram confirmar diferença significativa ( $p\leq 0,05$ ) de percepção háptica, entre todas as densidades de textura.

**TABELA 6:** Resultados das comparações múltiplas para as amostras de diferentes densidades, em PLA, PETG e TPU. Os valores em amarelo ( $< 31$ ) indicam que não houve diferença significativa ( $p>0,01$ ). Os valores em azul ( $> 31$ ) indicam que houve diferença significativa ( $p\leq 0,01$ ). **Fonte:** Autores, 2023.

?	PLA					PETG					TPU				
	64	89	149	197	236	68	95	139	189	244	63	106	147	184	235
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	-	25	85	133	172	-	27	71	121	176	-	43	84	121	172
2	-	-	60	108	147	-	-	44	94	149	-	-	41	78	129
3	-	-	-	48	87	-	-	-	50	105	-	-	-	37	88
4	-	-	-	-	39	-	-	-	-	55	-	-	-	-	51

## Discussão

O uso de impressão 3D revolucionou o modo de desenvolvimento de projeto

de produtos nas últimas décadas e, certamente, tornou-se um processo com expressivo potencial para o design inclusivo, com o desenvolvimento de tecnologias assistivas mais adequadas aos usuários.

Esta condição também pode ser observada com o desenvolvimento de sistemas de informação para PcDVs. De acordo com Gual; Puyuelo e Loveras (2015), esta tecnologia apresenta como vantagem a precisão geométrica e resolução dos elementos táteis, o que pode representar uma melhor percepção háptica pelos usuários. Por outro lado, de acordo com Tanikella; Wittbrodt e Pearce (2017) há uma carência crítica de falta de dados e padrões publicados em periódicos científicos, relacionados aos materiais de impressão 3D (pela técnica FFF), o que limita o desenvolvimento de designs mais “sofisticados” e, conseqüentemente, mais inclusivos. Além disso, observa-se que diferentes pesquisas (CICALA et al. 2017; TANIKELLA, WITTBRODT e PEARCE, 2017; SANTANA et al. 2018) se concentram em abordar os aspectos técnicos dos materiais de produção, não sendo encontrados estudos que contemplem a interação de uso, como por exemplo, a percepção háptica dos usuários em relação aos diferentes materiais de produção.

O presente estudo propôs analisar a percepção háptica de texturas impressas em 3D, empregando diferentes materiais, a fim de identificar quais deles proporcionam melhores resultados quanto ao nível de eficácia, eficiência e qualidade da percepção háptica.

Os resultados apontam que o TPU apresentou melhor desempenho em eficácia; e o PETG o melhor desempenho em eficiência, sendo significativamente melhor ( $p \leq 0,05$ ), quando comparado ao PLA. Como a compreensão dos códigos táteis é fundamental para sistemas de informação operacionais, é possível apontar que esses materiais são os mais indicados para a impressão 3D de sistemas de informação que exigem interação háptica, visto que apresentaram maior eficácia e eficiência. Por outro lado, nas comparações múltiplas para as amostras de diferentes densidades, em PLA, PETG e TPU, este último material possibilitou que os participantes conseguissem apresentar diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) de percepção háptica, entre todas as densidades de textura, reforçando então, ser o mais apropriado para interfaces que exigem a interação háptica.

Os resultados apontam ainda que o PLA apresentou o pior desempenho, tanto em eficiência e eficácia na ordenação das amostras, como nas comparações múltiplas para as amostras de diferentes densidades. Vale lembrar que, que este material é recomendado para o design de produtos inclusivos, produzidos por impressão 3D que utilizam o método FFF (GÖTZELMANN, 2016; MONTUSIEWICZ, BARSZCZ e KORGA, 2022; KARADUMAN, ALAN e YIĞIT, 2023). Contudo, de acordo com os achados no presente estudo, sua aplicação pode, em termos de efetividade dos designs desenvolvidos, não oferecer o desempenho adequado. Além disso, de acordo com Santana et al. (2018), do ponto de vista técnico, o PLA apresenta menor flexibilidade quando comparado ao PETG, o que pode ser um complicador para a produção de sistemas de informação hápticos, os

quais, necessariamente, exigem interação física (de contato). Neste sentido, os resultados aqui apresentados, já podem ser considerados um expressivo contributo para a área, demonstrando que a percepção háptica pode ser um fator decisivo na escolha do material para o desenvolvimento de sistemas informacionais que exigem interação háptica.

Outro aspecto importante a ser discutido, é que apesar do propósito do presente estudo estar concentrado na análise da qualidade de percepção háptica de texturas produzidas com diferentes materiais, em impressão 3D pela técnica de FFF, acredita-se que a participação exclusiva de pessoas videntes não gerou prejuízo nos resultados obtidos. De acordo com Whitaker, Simões-Franklin e Newell (2008), na avaliação de texturas, a percepção háptica contribui de forma independente da percepção visual. Portanto, o papel do repertório visual em atividades de discriminação háptica deve ser analisado em relação às propriedades geométricas dos objetos, e não necessariamente dos materiais. Enquanto as propriedades geométricas estão relacionadas à estrutura do objeto como forma, tamanho e volume; as propriedades materiais são definidas independentes da estrutura do objeto, visto que estão relacionadas a características tecnológicas de sua superfície, tais como: temperatura, dureza, textura e rugosidade (KUNZLER, 2003; SATHIAN e LACEY, 2008; WHITAKER, SIMÕES-FRANKLIN e NEWELL, 2008; LEDERMAN e KLATZKY, 2009). Corroborando com esta hipótese, Norman e Bartholomew (2011), em um estudo conduzido com 16 participantes cegos, encontraram evidências de que entre os indivíduos com cegueira tardia, o desempenho na identificação de formas tridimensionais foi superior ao grupo de cegos congênitos, enfatizando o papel da experiência visual no reconhecimento das propriedades geométricas de objetos. Neste sentido, Heller (1985) aponta ser possível que o repertório visual nos indivíduos com cegueira tardia, ligado às memórias de visão dos movimentos das mãos durante a exploração formal (enquanto enxergavam), ofereça uma vantagem na identificação das propriedades geométricas dos objetos.

Quanto à influência do repertório visual na identificação de propriedades materiais dos objetos, Baumgartner, Wiebel e Gegenfurtner (2015) concluíram que, tanto cegos congênitos, quanto indivíduos videntes, obtiveram desempenhos semelhantes em duas avaliações de categorização de texturas de amostras, o que significa que a ausência de uma performance distinta entre os dois grupos conduza à duas hipóteses: que não há benefício tanto de um experiência visual posterior (no caso dos videntes), quanto do sentido tátil mais apurado (no caso dos cegos congênitos); ou que esses dois fatores se anulam. De acordo com Klatzky (1998), quanto à percepção háptica, observa-se que a mesma se apresenta mais associada ao tato e movimento das mãos, o que corrobora com a ideia de não haver distinção expressiva entre grupos videntes e grupos cegos. Por outro lado, alguns estudos apontam preocupação com este entendimento. Bhirud e Chandan (2018), apontaram que o treinamento tátil pode compensar

a falta do repertório visual em indivíduos com cegueira congênita, visto que um grupo de cegos congênitos, fluentes em braile, apresentou um desempenho significativamente melhor em atividades de discriminação de texturas (lixas de diversas granulações) em relação à indivíduos videntes. Além disso, Heller e Ballesteros (2006) afirmam que em estudos sobre a interação tátil, participantes cegos têm sido um grupo relevante, visto que resultados com participantes videntes podem resultar em subestimação das habilidades táteis das PcDVs.

Portanto, apesar dos achados no presente estudo serem expressivos para o design inclusivo de sistemas de informação hápticas; e considerando que são as PcDVs os verdadeiros usuários, não há dúvida que estudos envolvendo esses indivíduos e, se possível, comparando os materiais em protótipos fins (como por exemplo, mapas táteis ou embalagens), devem ser considerados para a evolução do conhecimento na área.

## Considerações Finais

Este estudo buscou responder o questionamento a respeito do melhor material para impressão 3D de texturas utilizando a impressão por FFF, verificando se há diferença na percepção háptica utilizando os materiais PLA, PETG e TPU. Apesar de o PLA ser o material mais indicado para o desenvolvimento de produtos assistivos, o TPU obteve melhores resultados gerais, seguido do PETG. A partir destes resultados, foi possível observar que na escolha do material empregado na impressão 3D destes sistemas de informação, deve ser considerada a qualidade da percepção háptica dos usuários.

Além disso, foi possível perceber uma lacuna de metodologias e procedimentos específicos de avaliação do desempenho de materiais para impressão 3D, em sistemas de informação destinados às PcDVs, especialmente quando considerados aspectos relacionados ao design inclusivo.

Quanto às limitações deste estudo, é possível citar dois pontos principais: provavelmente, a participação de indivíduos cegos poderia apresentar outros resultados, provavelmente mais próximos da realidade de uso; e, em relação às amostras, não foram aplicadas variações no tamanho ou altura dos pontos (somente na distância entre eles), o que poderia contribuir para compreender se tais variáveis influenciariam na percepção háptica de texturas. Neste sentido, sugere-se que tais aspectos sejam explorados em futuros estudos, assim como a aplicação de texturas mais complexas; e em contexto real de uso (com PcDVs), para avaliação mais detalhada a respeito da diferença entre os materiais.

O presente estudo apresenta a possibilidade de aplicação de metodologias de análise sensorial às pesquisas na área do design inclusivo. Infelizmente, o consenso de acessibilidade para esses casos parece limitar-se à aplicação (ou não) de sistemas braile. E o presente estudo alerta para a necessidade de serem considerados outros fatores que tornem o Design Inclusivo efetivamente mais

próximo dos sistemas de informação para as PcDVs.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Processos nº 88887.803856/2023-00 e 88887.820748/2023-00; e Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESP), processo 2023/11155-7; e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - 308121/2022-8.

## Referências

BAUMGARTNER, E.; WIEBEL, C. B.; GEGENFURTNER, K. R. A comparison of haptic material perception in blind and sighted individuals. **Vision Research**, n. 115, p. 238-245, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.02.006>

BHIRUD, B. G.; CHANDAN, L. M. Blindness enhances texture perception: role of haptic sense. **Indian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 62, n. 2, p. 170-173, 2018.

BRASIL. Resolução nº 510/2016, de 24 de maio de 2016. **Ministério da Saúde**. Conselho Nacional de Saúde. Comissão Nacional de Ética em Pesquisa. 2016. Acessado em: 04 de setembro de 2023. In: <<http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2016/Reso510.pdf>>

CARDEAL, M. Imagem e invisualidade: a leitura tátil de ilustrações em relevo. **Anais do 18º Encontro da Associação Nacional de Pesquisadores em Artes Plásticas: transversalidades nas Artes Visuais**. Salvador, 2008.

CHRISTENSEN, Z. T.; OGDEN, L. V.; DUNN, M. L.; EGGETT, D. L. Multiple Comparison Procedures for Analysis of Ranked Data. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 2, p. S132-S143, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb08916.x>

CICALA, G.; LATTERI, A.; DEL CURTO, B.; LO RUSSO, A.; RECCA, G.; FARÈ, S. Engineering Thermoplastics for Additive Manufacturing: A Critical Perspective with Experimental Evidence to Support Functional Applications. **Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials**, n. 15, v. 1, pp. 10-18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5301/jab-fm.5000343>

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 3. ed. Curitiba: Champagnat. 426p. 2011.

ESTEVEES, E. **Análise sensorial**. Apontamentos para as aulas teóricas de Análise Sensorial do Curso de Engenharia Alimentar. Faro: Universidade do Algarve. 60p. 2009.

FROSCH, R. O mundo em 3D: produção de recursos pedagógicos inclusivos. **Campos dos Goytacazes: Encontrografia**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.52695/978-65-88977-35-4>

GÖTZELMANN, T. CapMaps: Capacitive sensing 3D printed audio-tactile maps. Proc. **15th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICHP 2016)**, Springer, p. 146–152, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41267-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41267-2_20)

GUAL, J.; PUYUELO, M.; LLOVERAS, J. The effect of volumetric (3D) tactile symbols within inclusive tactile maps. **Applied Ergonomics**, v. 48, p. 1-10, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.10.018>

GUAL, J.; PUYUELO, M.; LLOVERAS, M. Improving tactile map usability through 3-D printing techniques: An experiment with new tactile symbols. **Cartographic Journal**, v. 52, n. 1, p. 51–57, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1179/1743277413Y.0000000046>

HELLER, M. A. Tactual perception of embossed morse code and braille: the alliance of vision and touch. **Perception**, v.14, n. 5, p. 563-570, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1068/p140563>

HELLER, M. A.; BALLESTEROS, S. Introduction: approaches to touch and blindness. In: HELLER, M. A.; BALLESTEROS, S. (Eds.). **Touch and blindness: psychology and neuroscience**. London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, p. 1-21, 2006. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781410615671>

HOLLOWAY, L.; MARRIOTT, K.; BUTLER, M. Accessible maps for the blind: comparing 3D printed models with tactile graphics. **CHI '18: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. Nova Iorque: ACM, paper 198, p. 1-13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173772>

HOUGH, G. **Sensory Shelf Life: Estimation of Food Products**, London: CRC Press, 264p. 2010.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION; AMERICAN SOCIETY OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR TESTING AND MATERIALS. ISO/ASTM 52900:2015. Standard terminology for additive manufacturing - general principles - terminology. Genève: ISO; West Conshohocken: ASTM International, 2016.

KARADUMAN, H.; ALAN, Ü.; YIĞIT, E.Ö. Beyond “do not touch”: the experience of a three-dimensional printed artifacts museum as an alternative to traditional museums for visitors who are blind and partially sighted. **Universal Access in the Information Society**, v. 22, p. 811–824, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10209-022-00880-0>

KLATZKY, R. L. Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In: FREKSA, C.; HABEL, C.; WENDER, K. F. (Eds.). **Spatial cognition: an interdisciplinary approach to representation and processing of spatial knowledge**. Berlim: Springer-Verlag, p. 1-17, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1007/3-540-69342-4\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-69342-4_1)

KUNZLER, L. S. Q. **Estudo das variáveis de rugosidade, dureza e condutividade térmica aplicado à percepção tátil em design de produto** [Dissertação de Mestrado em Engenharia]. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 120p. 2003.

LEDERMAN, S. J.; KLATZKY, R. L. Human haptics. In: SQUIRE, L. R. (Ed. In Chief). **Encyclopedia of Neuroscience**. San Diego: Academic Press, v. 5, p. 11-18, 2009.

MANZINI, E. **La materia dell'invenzione**. Milano: Progetto Cultura-Montedison, 1989.

MONTUSIEWICZ, J.; BARSZCZ, M. e KORGA, S. Preparation of 3D Models of Cultural Heritage Objects to Be Recognised by Touch by the Blind—Case Studies. **Applied Science**, v. 12, n. 11910. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122311910>

NORMAN, J. F.; BARTHOLOMEW, A. N. Blindness enhances tactile acuity and haptic 3D shape discrimination. **Attention, Perception, & Psychophysics**, v. 73, p. 2323–2331, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13414-011-0160-4>

PHUTANE, M.; WRIGHT, J.; CASTRO, B. V.; SHI, L.; STERN, S. R.; LAWSON, H. M.; AZENKOT, S. Tactile Materials in Practice: Understanding the Experiences of Teachers of the Visually Impaired. **ACM Transactions on Accessible Computing**. v. 15, n. 3, p.p. 1–34; 2022. DOI: <https://doi.org/10.1145/3508364>

PMSP - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Resolução CPA/SEHAB-G/004/2000 - Norma Técnica para Linguagem Braille nos Elevadores. São Paulo: **Prefeitura Municipal de São Paulo** - Secretaria da Habitação - Comissão Permanente de Acessibilidade. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/pessoa\\_com\\_deficiencia/arquivos/legislacao/Resolucao\\_CPA004.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/pessoa_com_deficiencia/arquivos/legislacao/Resolucao_CPA004.pdf). Acesso em: 30 nov. 2023.

SANTANA, L.; ALVES, J. L.; NETTO, A. C. S.; MERLINI, C. Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. **Revista Matéria**, v.23, n. 4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180004.0601>

SATHIAN, K.; LACEY, S. Visual cortical involvement during tactile perception in blind and sighted individuals. In: RIESER, J. J., ASHMEAD, D. H., EDNER, F. F., CORN, A. L. (Eds.). **Blindness and brain plasticity in navigation and object perception**. Mahwah, NJ: Erlbaum, p. 113-125, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/dev.20056>

SILVA, J. C. P.; PASCHOARELLI, L. C. A ergonomia informacional e a possibilidade de desenvolvimento de texturas para leitura tátil - uma revisão. In: PASCHOARELLI, L. C.; MEDOLA, F. O. (Orgs.). **Tecnologia Assistiva: Estudos Teóricos**. 1. ed. Bauru: Canal 6 Editora, p. 371-378, 2018.

TANIKELLA, N. G.; WITTBRODT, B.; PEARCE, J. M. Tensile strength of commercial polymer materials for fused filament fabrication 3D printing. **Additive Manufacturing**, v. 15, pp. 40-47, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.03.005>

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Editora Blücher. 2017.

WHITAKER, T. A.; SIMÕES-FRANKLIN, C.; NEWELL, F. N. Vision and touch: Independent or integrated systems for the perception of texture? **Brain Research**, n. 1242, p. 59-72, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.05.037>

**Recebido:** 15 de dezembro de 2023

**Aprovado:** 21 de fevereiro de 2024