

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o texto completo desta Dissertação será disponibilizado somente a partir de 24/04/2025.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**DESIGN DE ORIGAMI PARA A ÁREA MÉDICA: METODOLOGIAS
PROJETUAIS DE DOBRADURAS PARA INSTRUMENTOS
CLÍNICOS E CIRÚRGICOS**

SAMANTA ALINE TEIXEIRA

BAURU/SP

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

SAMANTA ALINE TEIXEIRA

**DESIGN DE ORIGAMI PARA A ÁREA MÉDICA: METODOLOGIAS
PROJETUAIS DE DOBRADURAS PARA INSTRUMENTOS
CLÍNICOS E CIRÚRGICOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP - Campus Bauru, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Design.

Orientador: Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior

Coorientadora: Profa. Dra. Thaís Regina Ueno Yamada

BAURU/SP

2023

T266d Teixeira, Samanta Aline
Design de Origami para a área médica : metodologias
projetuais de dobraduras para instrumentos clínicos e cirúrgicos
/ Samanta Aline Teixeira. -- Bauru, 2023
173 f. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru
Orientador: Galdenoro Botura Junior
Coorientadora: Thaís Regina Ueno Yamada

1. design. 2. origami. 3. produtos médicos. 4. prototipagem
rápida. 5. Impressão tridimensional. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE SAMANTA ALINE TEIXEIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de abril do ano de 2023, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de SAMANTA ALINE TEIXEIRA, intitulada **Design de origami para a área médica: Metodologias projetuais de dobraduras para instrumentos clínicos e cirúrgicos**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professor Associado GALDENORO BOTURA JUNIOR (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Programa de Pos-graduacao em Design / Faculdade de Arquitetura Artes Comunicacao e Design - Campus de Bauru, Professor Doutor JOSE ANGELO BARELA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação Física / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP, Professora Associada MARIA GABRIELA BAUMGARTEN KUSTER UYEDA (Participação Virtual) do(a) Departamendo de Ginecologia / Unifesp/EPM, Professor Doutor LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Energia / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, Professor Associado JOÃO CARLOS RICCO PLACIDO DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de Uberlândia. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Professor Associado GALDENORO BOTURA JUNIOR



A autora agradece o apoio recebido da FAPESP – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, por meio do Projeto nº 2018/21396-3, para o desenvolvimento deste trabalho.

“Para sermos criativas precisamos de tempo. O tempo é um bem sagrado, e as mulheres devem aprender a cuidar dele, pois defendem o tempo dos demais e não o próprio. Devemos procurar juntas estratégias que permitam que os sonhos se transformem em realidade, tendo o cuidado de não sermos castigadas por nós mesmas diante de tamanho arrebatamento de liberdade. Deixamos a imaginação voar, fazemos projetos, admitimos os encontros casuais, deciframos as mensagens e nos espantamos diante da torrente de energia que volta a circular. Essa visão me sustenta e me guia na convicção de pensar que nós, mulheres, somos os pilares do futuro.”

Laura Gutman

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Sora.

Sempre que você adorar ser você mesmo, serei eu te amando. Porque você é uma coisa extraordinária, você é um ser humano.

A todas as mulheres do Brasil e do mundo. Este trabalho é um lembrete de que lutar pelos nossos direitos, pela nossa dignidade e por nossa felicidade vale a pena. Sempre. Transformemos nossas dores e traumas em ações políticas, em conquistas pessoais/profissionais e especialmente em sororidade. Eu vejo vocês. Estamos juntas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, por financiar esta pesquisa.

À UNESP, funcionários e professores, por possibilitar a experiência de se fazer ciência.

Ao meu orientador, Professor Galdenoro Botura Junior, por confiar em meu trabalho e me ajudar a organizar tudo com paciência e sabedoria.

À minha coorientadora, Professora Thaís Regina Ueno Yamada, pelo apoio e auxílio dentro e fora da pesquisa.

Ao meu marido, Marcel Miyamura Bonilha, por todo o ensino de física, mecânica clássica e a construção de conhecimento na área de exatas como um todo.

Aos médicos pesquisadores Maria Gabriela Baumgarten Kuster Uyeda, Alexandre Kim Sangalan Sasaoka e Mariane Nunes de Nadai, pela orientação dentro da área médica.

Ao professor Luis Carlos Paschoarelli e ao amigo Guilherme da Silva Bertolaccini, do Laboratório de Ergonomia e Interfaces - LEI, pelo auxílio nos testes de força.

Aos amigos Erica Tiemi Tobar e Gabriel Gonçalves Veagnoli, pela paciente orientação técnica na utilização de maquinários, especialmente com a impressora 3D.

Ao professor Fausto Orsi Medola, pelo acolhimento dentro do Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos – CADEP.

Às empresas Kolplast, Similar e Compatível, American Instruments, Cheiro Verde Ambiental, Estre Aterro Sanitário e USP de Bauru, pelas visitas técnicas e contribuição de informações dentro do ramo mercadológico, logístico, ambiental e científico.

À todas as mulheres que responderam ao questionário sobre conforto do exame Papanicolau.

A todos os médicos que responderam ao questionário sobre instrumentais de saúde.

Ao Professor Dorival Campos Rossi, por ter sido o primeiro a acreditar no meu trabalho.

Às mulheres da minha vida: minha mãe Maria José, meu braço direito e minha irmã Melissa, meu braço esquerdo. Aos homens da minha vida: meu filho Sora, meu combustível para ser sempre uma versão melhor de mim todos os dias, meu marido Marcel, meu pai Pedro, meus irmãos Vinícius e Pedro. Aos meus sogros Lizete e Ricardo, por todo auxílio diário sem questionamentos. Aos meus amigos: Laís, Giovana, Yumi, Tiago, Daniela, Ana e Diogo, por todas as conversas, cartas, comemorações e brincadeiras.

Eu amo todos vocês e devo-lhes tudo o que sou.

Muito obrigada!

RESUMO

O origami é uma técnica artística ancestral que transforma o papel em diferentes formatos simples ou complexos por meio de dobras. Hoje essa forma de arte evoluiu em grande escala e está sendo incorporada em diversas tecnologias de produtos, na arquitetura, moda, engenharia espacial e na ciência de materiais. Na área médica o origami está ganhando especial atenção dos pesquisadores, pois seus métodos de design têm alcançado as mais inúmeras soluções inovadoras em formas e estruturas com multifuncionalidades. Considerando que designers partem do pressuposto de buscar soluções para problemas do cotidiano, e tendo como pano de fundo incontáveis possibilidades de ações afirmativas em uma área tão cara à sociedade como a da saúde, a presente pesquisa aborda sobre o design de origami aplicado em produtos médicos e como é possível projetar melhorias de instrumentos clínicos e cirúrgicos utilizando métodos baseados nas dobraduras de papel. Questionários e entrevistas foram realizados para profissionais da medicina e pacientes elencarem produtos que apresentam problemas de uso. Dois instrumentos mais mencionados foram escolhidos como objetos de foco investigativo: o espéculo vaginal e a bolsa de morcelamento laparoscópica, cujas especificações foram levantadas com visitas técnicas em fabricantes responsáveis. As hipóteses da pesquisa são de que as melhorias dos instrumentos nos aspectos de formas, fabricação e sustentabilidade são alcançadas por meio do design de origami. A pesquisa tem por objetivo principal gerar conhecimento em design de origami aplicado à medicina, e por objetivos específicos elaborar metodologias projetuais e novos designs adaptados de origamis para instrumentos médicos, juntamente com avaliação e discussão dos resultados. O material e métodos abrangem a engenharia reversa da orimimética, estudos de forma e função em papel, construção e adaptação de padrões de vincos de origamis tesselações, testes de força por dinamômetro, desenho de mecanismos compatíveis e prototipagem rápida com máquina de corte a laser e impressão 3D tipo FDM com filamento em PLA. Os resultados da pesquisa são da ordem de três constatações: o ensaio de força dos origami tesselações demonstrou ser um método eficaz de comparação e de escolha de designs mais eficientes para aplicação em produtos médicos, além da descoberta de comportamento de deformação não-linear dos origamis, uma vantagem de redução de impacto que pode ser aplicada em produtos como amortecedores; o novo design proposto para a bolsa de morcelamento apresentou um aproveitamento de 20% a mais da matéria-prima e uma diminuição espacial de 97,5% quando está dobrada, além da diminuição de custo de produção pela substituição do nitinol por um fecho de plástico denso; o novo design proposto para o espéculo vaginal apresentou melhorias econômicas fabris devido à substituição da injeção de plástico pela impressão 3D e a substituição das três peças integrantes por uma única peça, além da facilitação de escalabilidade para diferentes corpos e melhorias sustentáveis pelo uso do polímero PLA. Estudos futuros foram indicados para testagem de outras técnicas e alternativas em formas do espéculo vaginal, uso de tratamentos em materiais e de polímeros biocompatíveis e testagem ergonômica dos novos designs propostos com avaliação de conforto às pacientes e usabilidade aos profissionais de saúde.

Palavras-chaves: design de origami; instrumentos médicos; espéculo vaginal; bolsa de morcelamento; impressão 3D.

ABSTRACT

Origami is an ancient artistic technique that modifies paper into different simple or complex shapes by folding it. Today this art form has evolved on a massive scale and is being incorporated into countless product technologies, architecture, fashion, space engineering, and materials science. In the medical area, origami is gaining special attention from researchers, as its design methods have reached the most innumerable innovative solutions in shapes and structures with multi-functionality. Considering that designers start from the search for resolutions to everyday problems, and against the backdrop of countless possibilities for affirmative action in an area as dear to society as health, this research addresses origami design applied to medical products and how it is possible to design improvements of clinical and surgical instruments using methods based on paper folding. There was an application of questionnaires and interviews for medical professionals and patients to list products with functional problems. From the answers, there is a research focus on the two most mentioned instruments: the vaginal speculum and the laparoscopic morcellation bag, with a survey of specifications through technical visits to factories of these instruments. The research hypotheses are that origami design enables improvements in forms, manufacturing, and sustainability of medical tools. The main objective of the research is to generate knowledge in origami design applied to medicine, and for specific objectives to elaborate project methodologies and new products adapted from origami to medical instruments, together with evaluation and discussion of the results. The material and methods cover the reverse engineering of orimimetic, studies of form and function on paper, adaptive design of tessellation origami crease patterns, dynamometer strength tests, design of compatible mechanisms, and rapid prototyping with laser cutting machine and FDM-type 3D printing with PLA filament. The research results are of the order of three findings: the test of the strength of origami tessellations proved to be an effective method of comparison and choice of more efficient designs for application in medical products, in addition to the discovery of non-linear deformation behavior of origami, an impact reduction advantage relevant for application in products such as shock absorbers; the new product design for the morcellation bag showed 20% more use of the raw material and a 97.5% spatial reduction when it is folded, in addition to reducing production costs by replacing nitinol with a plastic closure dense; the new product design for the vaginal speculum presented manufacturing economic improvements due to the replacement of plastic injection by 3D printing and the replacement of the three integral parts by a single piece, in addition to facilitating scalability for different bodies and sustainable improvements by the use of PLA polymer. We indicate future studies for testing other techniques and alternatives in the shape of the vaginal speculum, use of treatments in materials and biocompatible polymers, and ergonomic testing of the proposed new designs with an evaluation of comfort for patients and usability for health professionals.

Keywords: origami design; medical instruments; vaginal speculum; morcellation bag; 3D printing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	: Os tipos de design de origami e suas características.....	22
Figura 2	: Principais pesquisas de design de origami na área médica.	23
Figura 3	: Instrumento Espéculo Vaginal.	25
Figura 4	: Processo de dobragem da bolsa de morcelamento.	26
Figura 5	: Fluxograma de delimitação da pesquisa.	27
Figura 6	: A escala de dobras na natureza.	28
Figura 7	: Princípio de funcionamento das dobras.	30
Figura 8	: Padrões de vincos de origamis.	30
Figura 9	: Tipos de DOFs de um corpo rígido.....	31
Figura 10	: Tipos e quantidade de DOFs da mão humana.	32
Figura 11	: Exemplo de origami com 1 DOF.	32
Figura 12	: Adaptações dos vincos de papel para materiais rígidos.	33
Figura 13	: Origami do tipo tesselação Waterbomb.	37
Figura 14	: Comportamento auxético do origami Waterbomb.	38
Figura 15	: Esquema de Impressora 3D do tipo FDM.	42
Figura 16	: Comparação das tecnologias em impressão 3D.	43
Figura 17	: Princípio da impressão 4D.....	44
Figura 18	: Design de origami para impressão 4D.	45
Figura 19	: Impressão 3D de padrão de vincos multimateriais.....	46
Figura 20	: Facetas macho e fêmea e o vinco adaptados para impressão 3D.	46
Figura 21	: Mecanismo compatível de garra.....	47
Figura 22	: Oriceps - mecanismo compatível de pinça.	47
Figura 23	: D-CORE – mecanismo compatível de dobradiça.....	48
Figura 24	: Montagem de origami por linhas.....	49
Figura 25	: Esquema das etapas do exame Papanicolau com espéculo vaginal.	50
Figura 26	: Espéculo vaginal da Idade Antiga, século III.	51
Figura 27	: Espéculo vaginal da Idade Contemporânea, ano de 1847.	51
Figura 28	: Exame ginecológico de toque praticado em 1822, na França.	52
Figura 29	: Espéculo de Sims e seu uso com um afastador.	53
Figura 30	: Espéculo Pederson e Graves de aço inoxidável.	54
Figura 31	: Espéculo vaginal FemSpec.....	55
Figura 32	: Espéculo vaginal para pacientes com prolapso genital.	56
Figura 33	: Espéculo vaginal Lotus.	56

Figura 34	: Espécuro vaginal Yona.	57
Figura 35	: Insensor para colposcópio, uma alternativa ao espécuro tradicional.	58
Figura 36	: Tecido de revestimento Nella VuSleeve para espécuro.	59
Figura 37	: Espécuro vaginal feito com impressão 3D.	60
Figura 38	: Videocirurgia por laparoscopia.	61
Figura 39	: Primeira experimentação laparoscópica por Georg Kelling, em 1901... 62	
Figura 40	: Videocirurgia por laparoscopia com uma única incisão.....	62
Figura 41	: Tipos de cirurgias laparoscópicas.....	63
Figura 42	: Pequena bolsa de morcelamento para biópsias.	64
Figura 43	: Bolsas de morcelamento EcoSac de diversos volumes.	64
Figura 44	: Processo de inserção da EcoSac no abdômen.	65
Figura 45	: Instruções de uso da EcoSac.....	65
Figura 46	: Bolsa de morcelamento More Cell Bag.....	66
Figura 47	: Processo de funcionamento da More Cell Bag.....	66
Figura 48	: Destino dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2017.	68
Figura 49	: Municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil em 2017.....	69
Figura 50	: Destinação do Lixo Hospitalar nos municípios em 2017.....	70
Figura 51	: Requisitos de projeto para atender minorias sociais.....	71
Figura 52	: Tipos de qualidades atuantes no design de produtos.....	72
Figura 53	: Fluxograma de elaboração da metodologia de pesquisa.	73
Figura 54	: Porcentagem de mulheres e os níveis de desconforto.	76
Figura 55	: Depoimentos das pacientes sobre o uso do espécuro no exame.....	77
Figura 56	: Alguns setores da fabricante de espécuro vaginal cirúrgico.....	78
Figura 57	: Espécuro vaginal de metal e poliamida, cedido pela empresa.....	79
Figura 58	: Linhas de montagens, testes e confecções de peças da fabricante.	79
Figura 59	: Processo de fabricação do espécuro vaginal cirúrgico.	80
Figura 60	: Visita à fabricante de espécuro vaginal descartável.	81
Figura 61	: Tamanhos dos espécuros vaginais descartáveis.	82
Figura 62	: Espécuros vaginais descartáveis, cedido pela empresa.	82
Figura 63	: Visita à laboratório de ginecologia na USP.....	83
Figura 64	: Demonstração de inserção do espécuro no boneco vaginal.....	83
Figura 65	: Diferentes setores da fabricante nacional da bolsa de morcelamento. ...	84
Figura 66	: A bolsa de morcelamento e o introdutor, cedidos pela empresa.	84
Figura 67	: Instrumentos para videolaparoscopia feitos na empresa.	85

Figura 68	: Processo de fabricação da bolsa de morcelamento.....	86
Figura 69	: Empresa de tratamento de resíduos de serviços de saúde.	87
Figura 70	: Processo da autoclavagem.....	88
Figura 71	: Duas autoclaves e o triturador.	89
Figura 72	: Setores de tratamento de água e transporte do lixo hospitalar.	89
Figura 73	: Resíduos aguardando para serem autoclavados.	89
Figura 74	: Sistema de camadas projetadas do aterro sanitário.	91
Figura 75	: Processo de funcionamento do aterro sanitário.	91
Figura 76	: Diferentes etapas e setores do aterro sanitário.	93
Figura 77	: Variáveis de design de origami para instrumentais médicos.....	94
Figura 78	: Variáveis de atuação para design de espéculo vaginal.....	96
Figura 79	: Variáveis de atuação para design de bolsa de morcelamento.....	96
Figura 80	: Requisitos de melhoria de design para espéculo vaginal.	97
Figura 81	: Requisitos de melhoria de design para bolsa de morcelamento.	97
Figura 82	: A máquina de corte a laser Due Nxt.....	99
Figura 83	: A impressora 3D Sethi3D S3X.	99
Figura 84	: Construção geométrica modular das amostras.	101
Figura 85	: Desenho e vincagem das amostras com corte a laser.	102
Figura 86	: As quatro amostras vincadas e dobradas.	102
Figura 87	: Desenho Técnico 1 da base para o teste de força.	103
Figura 88	: Desenho Técnico 2 da base e peças para o teste de força.	104
Figura 89	: A mesa suporte construída, no dia da coleta dos testes.....	104
Figura 90	: Fixação do origami no sistema de captação de força.	105
Figura 91	: Curva de força e deformação para padrão A em tração.	108
Figura 92	: Curva de força e deformação para padrão B em tração.....	108
Figura 93	: Curva de força e deformação para padrão C em tração.....	109
Figura 94	: Curva de força e deformação para padrão D em tração.	109
Figura 95	: Curva de força e deformação para padrão A em compressão.	110
Figura 96	: Curva de força e deformação para padrão B em compressão.	110
Figura 97	: Curva de força e deformação para padrão C em compressão.	111
Figura 98	: Curva de força e deformação para padrão D em compressão.	111
Figura 99	: Fluxograma de seleção das melhores tesselações.	114
Figura 100	: Módulos iniciais de repetição do origami A.....	115
Figura 101	: Módulos de repetição do origami B.	115

Figura 102	: Módulos de repetição do origami A ajustados na diagonal.....	116
Figura 103	: Design austríaco da bolsa de morcelamento.	116
Figura 104	: Design austríaco da bolsa possui 2 entradas.....	117
Figura 105	: Design brasileiro da bolsa de morcelamento.....	117
Figura 106	: Diferenças de entradas entre design austríaco e brasileiro.....	118
Figura 107	: Modificação dos limites da bolsa para linhas retas.	118
Figura 108	: Aproveitamento de matéria-prima para a Safe Bag.	119
Figura 109	: Aproveitamento de matéria-prima do novo design Origami Bag.	119
Figura 110	: Testes de inserção do origami A na bolsa.	120
Figura 111	: Testes dobrados do origami A.....	120
Figura 112	: Testes de inserção do origami B na bolsa.	121
Figura 113	: Testes dobrados do origami B.....	121
Figura 114	: Variação de ângulos do origami B.	122
Figura 115	: Testes dobrados das variações de ângulos do origami B.	122
Figura 116	: Bolsa de morcelamento em papel com design do origami B.	123
Figura 117	: Autodobragem por linha com design do origami B.	123
Figura 118	: Frente e verso do design da bolsa com origami B e o local dos furos.	124
Figura 119	: Processo de simplificação do padrão de vincos da bolsa.	125
Figura 120	: Design da Origami Bag.	125
Figura 121	: Origami Bag em papel.....	126
Figura 122	: Processo de modelagem e acabamento da Origami Bag em plástico... ..	127
Figura 123	: Acabamento em ilhós para autodobragem com linha.....	127
Figura 124	: Transposição em papel do design tradicional do espéculo vaginal.	128
Figura 125	: Testes de dobras em papel para o invólucro estrutural.....	128
Figura 126	: Impressão do Oriceps na Sethi3D S3X.	129
Figura 127	: Impressão do D-Core na Sethi3D S3X.....	129
Figura 128	: Processo adaptativo do Oriceps para a forma do espéculo.....	130
Figura 129	: Estudo de formas para o design de espéculo.	131
Figura 130	: Estudo de ângulos para o design de espéculo.....	131
Figura 131	: Processo de vincagem e corte a laser.	132
Figura 132	: Testes de ângulos de abertura do Ori Espec de papel.	132
Figura 133	: Estudo de formas de papel para espéculo com invólucro acoplado.	133
Figura 134	: Impressão de dobra em PLA (em branco) e TPU (em preto).....	134
Figura 135	: Dobra em PLA (à esq.) e em PLA com TPU (à dir.).	134

Figura 136	: Primeiras impressões multimateriais do Miura-Ori.	134
Figura 137	: Miura-Ori com sistema de encaixe macho e fêmea.....	135
Figura 138	: Impressão do Miura-Ori com o encaixe macho e fêmea.	136
Figura 139	: Teste design de espéculo com invólucro e encaixe macho-fêmea.	136
Figura 140	: Processo de construção do design do Ori Espec para material rígido..	137
Figura 141	: Modelagem e fatiamento no Fusion 360 e Ultimaker Cura.	138
Figura 142	: Diferentes espessura do Ori Espec.	139
Figura 143	: Comparação do design de espéculo tradicional e o novo.....	141
Figura 144	: Compactação e expansão do novo design proposto.	142
Figura 145	: Comparação entre a Safe Bag e a Origami Bag.	142
Figura 146	: Simulação de cirurgia com a bolsa de morcelamento.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	: Tempo de atuação profissional dos médicos.....	74
Tabela 2	: Cidades onde trabalham.	74
Tabela 3	: Faixa etária das pacientes.....	75
Tabela 4	: Frequência de ida a ginecologista.	75
Tabela 5	: Quantidade de realizações do exame Papanicolau.....	75
Tabela 6	: Questionamento sobre desconforto do exame Papanicolau.	76
Tabela 7	: Questionamento sobre o espéculo vaginal.	76
Tabela 8	: Características geométricas de cada tipo de amostra origami tesselação.	107
Tabela 9	: Relação das espessuras do Ori Espec.....	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABS: Acrilonitrila Butadieno Estireno

AM: Manufatura Aditiva

BYU: Universidade Brigham Young

CAD: Desenho Assistido por Computador

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CJP: Jateamento Aglutinante

CNC: Comando Numérico Computadorizado

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRM: Conselho Regional de Medicina

DLP: Fotopolimerização em Cuba

DNA: Ácido Desoxirribonucleico

DOF: Graus de Liberdade de Movimento

DR: Distância de Retração

EAPs: Polímeros Eletroativos

FDA: U.S. Food and Drug Administration

FDM: Modelagem por Fusão e Deposição

FFF: Fabricação com Filamento Fundido

FOAMs: Músculos Artificiais Acionados por Fluidos e Inspirados em Origami

HIV: Vírus da Imunodeficiência Humana

LED: Diodo Emissor de Luz

LMF: Liga de Memória de Forma

MC: Mecanismo Compatível

MJP: Jateamento de Material

MLEMS: Mecanismos de Lâminas Emergentes Multicamadas

OMS: Organização Mundial da Saúde

PAC: Compósito Impresso Ativamente

PEAD: Polietileno de Alta Densidade

PEEK: Poliéter-Éter-Cetona

PELBD: Polietileno Linear de Baixa Densidade

PET: Polietileno Tereftalato

PETG: Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol

PLA: Ácido Polilático

PMDS: Dimetil Polissiloxano

PMMA: Poli Metacrilato de Metila

POP: Prolapso dos órgãos pélvicos

PVA: Acetato de Polivinila

PVC: Policloreto de Vinila

RSS: Resíduos de Serviços de Saúde

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SARS-CoV-2: Coronavírus 2 da síndrome respiratória aguda grave

SLS: Sintetização A Laser

SMA: Shape-Memory Alloys

TPU: Poliuretano Termoplástico

TPU: Poliuretano Termoplástico

UFSCAR: Universidade Federal de São Carlos

UNESP: Universidade Estadual Paulista

UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas

UNIFESP: Universidade Federal de São Paulo

US: Ultrassom

USP: Universidade de São Paulo

VAMPs: Estruturas Pneumáticas Ativadas a Vácuo e Inspiradas em Músculos

VR: Velocidade de Retração

SUMÁRIO

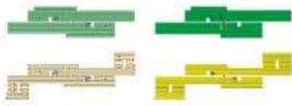
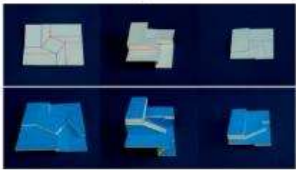
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	11
LISTA DE TABELAS.....	16
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1. INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Problematização	24
1.2 Hipóteses.....	26
1.3 Objetivos.....	26
1.4 Delimitação da Pesquisa	27
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
2.1 Design de origami aplicado à medicina	28
2.1.1 DNA Origami.....	33
2.1.2 Pinça cirúrgica.....	35
2.1.3 Stent Cardíaco	37
2.1.4 Músculos Artificiais	38
2.1.5 Microrrobô de origami	40
2.1.6 Mecanismos e montagens.....	41
2.2 Espéculo Vaginal	50
2.2.1 Histórico.....	50
2.2.2 Análise de Similares.....	54
2.3 Bolsa de Morcelamento	60
2.3.1 Histórico.....	60
2.3.2 Análise de Similares.....	63
2.4 Resíduos de Serviços de Saúde.....	67
2.5 Ergonomia de instrumentos médicos.....	70
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	72
3.1 Questionários e escolha dos produtos	73
3.2 Visita Técnica 1: Espéculo vaginal de metal	78
3.3 Visita Técnica 2: Espéculo vaginal de plástico	80
3.4 Visita Técnica 3: Laboratório de ginecologia.....	83
3.5 Visita Técnica 4: Bolsa de morcelamento	84

3.6	Visita Técnica 5: Tratamento de lixo hospitalar	87
3.7	Visita Técnica 6: Aterro sanitário	90
3.8	Definição de variáveis e requisitos de melhoria	93
3.9	Método para ensaio de força	100
3.10	Métodos para Bolsa de morcelamento	107
3.10.1	Energia para deformação.....	107
3.10.2	Características da superfície.....	113
3.10.3	Fonte do origami e material.....	126
3.11	Métodos para Espéculo vaginal	127
3.11.1	Características da superfície.....	127
3.11.2	Fonte do origami e material.....	132
3.12	Material: Considerações e possibilidades biocompatíveis.....	140
4.	RESULTADOS.....	140
5.	DISCUSSÃO.....	143
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
	REFERÊNCIAS	153
	GLOSSÁRIO	161
	APÊNDICES	163
	ANEXOS	172

1. INTRODUÇÃO

O origami é uma técnica artística ancestral que transforma o papel plano em diferentes formatos simples ou complexos por meio de dobras. A origem histórica das dobraduras possui diferentes apropriações artísticas e culturais no ocidente e oriente (HATORI, 2011). Esse paralelo entre países com costumes muito distintos fez com que a linguagem do origami construísse grande repertório de possibilidades em formas e estruturas e propiciou o surgimento de métodos de design que estão sendo implementados com sucesso atualmente. Isto porque o origami apresenta técnicas práticas e de fácil acesso, mas que também permite complexidade geométrica, aderência de mais de um tipo de função e formatos diversos em um mesmo artefato. A orimimética, por exemplo, é uma das metodologias de design de origami gerida pelo raciocínio da engenharia reversa que possui a capacidade de conceber projetos de produto de maneira análoga aos origamis de papel e tendo, por consequência, dobras mecânicas que diminuem as dimensões do artefato (GREENBERG et al., 2011). Os projetos de pesquisas e tecnologias em origami são inúmeros e em constante expansão (TEIXEIRA; BOTURA JR; YAMADA, 2020a), eles abrangem diversas áreas do conhecimento, possuem vasto repertório de metodologias teóricas e práticas e geralmente caminham junto com ascensão de novos tipos de materiais, designs de formas e estruturas completamente inéditos, novos processos de automatização e manufatura, e inovação em vários níveis como a incorporação de multifuncionalidades, sustentabilidade e acesso mais horizontal aos usuários (TEIXEIRA; BOTURA JR; YAMADA, 2020b). Para citar algumas dessas tecnologias e pesquisas, têm-se a atuação do origami na área do design de produtos (FRANCIS et al., 2014; MERALI, 2011; MORGAN et al., 2016), design de moda (CABRAL et al., 2015; KNITTEL et al., 2015), arquitetura (SORGUÇ; HAGIWARA; SELÇUK, 2009; STROBL, 2010; TACHI, 2011), biologia molecular e genética (IWAKI et al., 2016; KUZUYA et al., 2011; RAAB et al., 2017; YANG et al., 2016), engenharia e ciência de materiais (CHEN; PENG; YOU, 2015; CHEN et al., 2019; FRANCIS et al., 2013; OVERVELDE et al., 2017), tecnologias espaciais (HYDE et al., 2002; LANG, 2004; ZIRBEL et al., 2013), e robótica (FELTON et al., 2014). Para se compreender melhor o caráter de cada uma das atividades de pesquisa dentro deste tema, alguns autores (FRANCIS et al., 2014) dividiram-nas em áreas de atuação: design de origami norteado pela inspiração e pela adaptação, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1: Os tipos de design de origami e suas características.

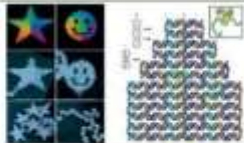
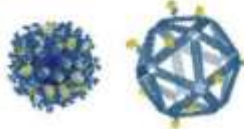
TIPO DE PESQUISA EM DESIGN DE ORIGAMI	Inspiração	Adaptação
EXEMPLO DE PESQUISA	Kuzuya et al., 2011 	Chen, Peng e You, 2015 
FORMA ASSOCIADA	Abstrata, subjetiva	Concreta, objetiva
ESTRATÉGIA TÉCNICA	Raciocínio das dobras	Mecanismo das dobras
ÁREAS DE ATUAÇÃO	Biologia molecular, nanotecnologia, bioquímica, ciências de materiais, multidisciplinaridades	Engenharias, robótica, ciências tecnológicas, ciências de materiais, multidisciplinaridades

Fonte: Elaboração da autora.

O design inspirado no origami (KUZUYA et al., 2011) tem enfoque no raciocínio das dobras, ou seja, investigando e aplicando o funcionamento do origami enquanto paradigma de uma forma subjetiva, sendo que esta área possui pesquisas aplicadas em microbiologia, farmacologia, bioquímica, biologia molecular, e genética. O design de adaptação do origami (CHEN; PENG; YOU, 2015) se orienta pelos mecanismos das dobras ou orimimética, isto é, pesquisando e projetando o origami como objeto ou estrutura e tendo pesquisas com enfoque no funcionalismo e criatividade nas ciências sociais aplicadas, como o design de produtos, engenharia de materiais e tecnologias na área da astronomia. No entanto, existem as áreas multidisciplinares que transitam por ambos os segmentos de inspiração e adaptação, ou seja, são domínios que se preocupam tanto com o raciocínio quanto com o mecanismo das dobras: é o caso da matemática, ciências da computação, nanotecnologia, ciências de materiais e medicina - esta última área com enfoque na presente pesquisa. Dentro do ambiente cirúrgico há uma necessidade cada vez maior das ferramentas serem compactas para facilitar a esterilização e fabricação a custos mais baixos (GREENBERG et al., 2011). Além da otimização da produção automatizada, a orimimética, ou ainda, o design de dobras mecânicas, surge com o escopo de melhorar a experiência do usuário. No caso dos médicos e pacientes, tanto em nível ambulatorial quanto cirúrgico, este tipo de metodologia projetual propicia melhorias na mudança de forma em expansão e compactação dos instrumentais durante os procedimentos. A revisão de artigos sobre estruturas de origami aplicadas em dispositivos médicos (JOHNSON et al., 2017) aponta para a importância do tema de pesquisa nos últimos 10 anos. De acordo com Edmondson et al. (2013, tradução da autora): “a indústria de dispositivos médicos é um

mercado em rápida evolução e altamente competitivo. A inserção da robótica cirúrgica intensificou essas qualidades e introduziu um novo conjunto de desafios”. Esses desafios envolvem uma necessária melhoria em todo conjunto de ferramentas médicas disponíveis no momento. O design de origami para desenvolvimento de produtos na área da saúde pode agregar uma série de vantagens como a diminuição de custos de manufatura, simplificação de forma, diminuição de uso de matéria-prima, eliminação de peças adjacentes e/ou sobressalentes como parafusos e dobradiças, e ter ainda a possibilidade de se obter funções multitarefas (JOHNSON et al., op. cit; MERALI, 2011). A modificação de formas mais expandidas para mais compactas é especialmente interessante em ambientes cirúrgicos, onde há uma necessidade das ferramentas serem compactas para viabilizar cirurgias minimamente invasivas (GREENBERG et al., op. cit). Além da otimização de fabricação automatizada e melhorias nas formas e funções dos artefatos médicos, o design de origami surge também com o escopo de melhorar a experiência do usuário: para médicas(os), facilitando o uso dos instrumentais, e para pacientes, sendo submetidas(os) a processos cirúrgicos e/ou ambulatoriais mais rápidos, eficazes e menos invasivos.

Figura 2: Principais pesquisas de design de origami na área médica.

PESQUISA EM DESIGN DE ORIGAMI	TIPO E ÁREAS	FUNÇÕES E VANTAGENS
Rothmund, 2006 	Inspiração Biologia Molecular	• Técnica de compactação do material genético; • Melhorias em estequiometria e purificação.
Veneziano et al., 2020 	Inspiração Ciências de Materiais, Nanotecnologia	• Estruturas proteicas que simulam vírus; • Respostas imunológicas para produção de vacinas,
Kuribayashi et al., 2006 	Adaptação Ciências de Materiais, Nanotecnologia	• Stent cardíaco para cirurgia de angioplastia; • Peça monolítica, economia de matéria-prima, montagens e custos,
Li et al., 2017 	Adaptação Ciências e Tecnologia, Multidisciplinar	• Músculo artificial acionado por fluido; • Levanta cargas e recupera movimentos corporais, design possibilita diversos processos fabris.
Miyashita et al., 2016 	Adaptação Automação, Robótica	• Microrrobô multitarefa para estômago; • Se adapta em pequenos espaços, costura feridas, remove corpos estranhos e entrega medicamentos.
Edmondson et al., 2013 	Adaptação Automação, Ciências de Materiais	• Pinça para cirurgia de laparoscopia; • Estudos de forma em papel rápidos e baratos; • Peça monolítica, economia de matéria-prima, montagens e custos.

Fonte: Elaboração da autora.

Algumas pesquisas foram descritas brevemente na figura acima, mas são diversos os dispositivos voltados à saúde humana que são projetados a partir de design de origami e que possuem atuação em diferentes ramos como a angioplastia, radiologia, gastroenterologia, e em tratamentos diversos, podendo ser endopróteses (KURIBAYASHI et al., 2006), robôs em miniatura para microcirurgias e intervenções clínicas (MIYASHITA et al., 2014, 2015, 2016), micropinças cirúrgicas (BASSIK et al., 2010; EDMONDSON et al., 2013), ataduras terapêuticas (ZHAO et al., 2018), cateterismo cardíaco (CHEN et al., 2015; SCHMIDT et al., 2011; TAYLOR et al., 2016), e mesmo administração de medicamentos mais eficazes (ZHU; LI, 2014). Considerando que designers partem do pressuposto de buscar soluções para problemas do cotidiano, esta pesquisa propõe investigar e elaborar possibilidades de ações afirmativas em uma área tão cara à sociedade como a da saúde por meio do design de origami. Para tal, é realizado um levantamento da problematização de produtos médicos no Brasil, a quem e como afetam, e quais são as possibilidades de atuação do design de origami para resolvê-los ou, pelo menos, minimizá-los.

1.1 Problematização

A abordagem e levantamento da problematização inicia-se por contato com dois médicos ginecologistas e pesquisadores da UNIFESP, M. G. Uyeda e A. Sasaoka, que indicaram dois instrumentais com problemas de uso: o espécuro vaginal e a bolsa de morcelamento para laparoscopia.

O espécuro vaginal é o instrumento médico ginecológico mais antigo que existe (SANDELOWSKI, 2000). Esta ferramenta é voltada para a vigilância e diagnóstico obstétrico e pode ser composta de plástico rígido ou ferro. O espécuro é utilizado no exame de prevenção ao câncer de colo do útero, o teste Papanicolaou. Sua origem data desde a antiguidade - por volta de 79 d.C. (ROSSMANN, 2008), com design inalterado até o meio do século XIX. Do meio do século XIX para frente, mais de 400 variações do espécuro “Sims” foram patenteadas. O espécuro de Thomas Graves e Pederson “bico de pato”, em meados de 1870, é o design mais utilizado atualmente. De acordo com os médicos consultados, o espécuro possui uma rigidez de forma que confere ao produto uma série de complicações, como dificuldade de manuseio, dificuldade de adaptação aos diferentes tipos de pacientes, e desconforto ao exame por pressionar demasiadamente o introito. Em pacientes acima do peso, o profissional da saúde se vê obrigado a fazer adaptações precárias e de modo improvisado, com uso adicional de luvas com furos, conforme apresentado na figura abaixo.

Figura 3: Instrumento Espéculo Vaginal.



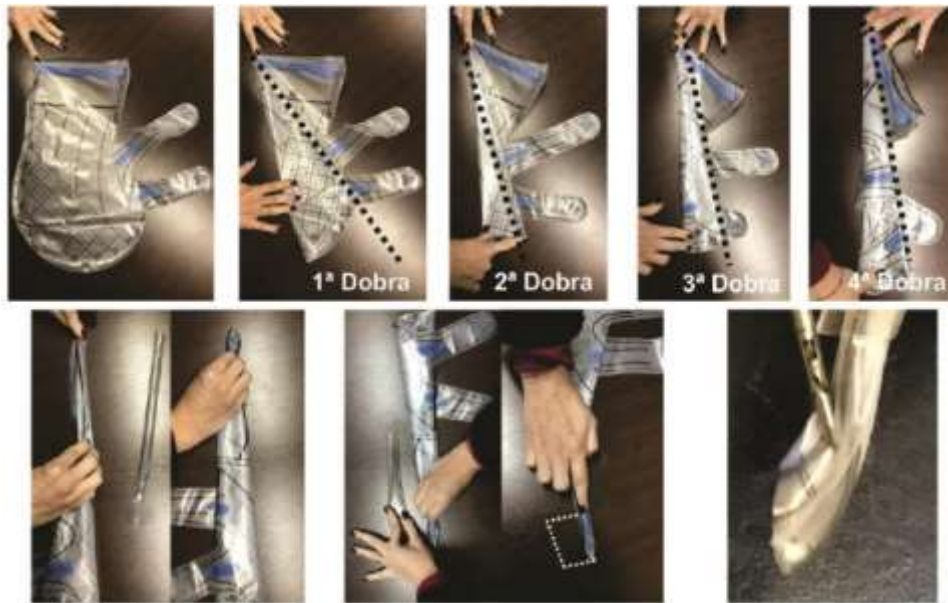
Fonte: Disponível em: <https://youtu.be/kIKBtCm0-BM>. Acesso em 28 mar. 2019.

Além dessa rigidez de formato, verifica-se que, apesar de possuir mais de 1900 anos de existência e com mais de 400 variações de formatos ao longo da história, o espéculo vaginal permanece com mudanças pouquíssimo significativas desde os seus primeiros modelos utilizados (TEIXEIRA; BOTURA JR; YAMADA, 2021).

O outro instrumento citado, a bolsa de morcelamento, trata-se de um produto comumente utilizado na laparoscopia, um tipo de cirurgia minimamente invasiva que permite a visualização direta dos órgãos internos do abdômen humano por meio de pequenas incisões. O início da laparoscopia data de 1901 (AHMED, 2008) e possui avanços tecnológicos relevantes até os dias atuais como, por exemplo, a cirurgia laparoscópica realizada com apenas uma única incisão pelo umbigo (KIM et al., 2010). A bolsa é utilizada para procedimentos como a histerectomia (remoção de partes ou a totalidade do útero), remoção de miomas uterinos (cistos benignos no útero), remoção de vesícula biliar, apêndice intestinal e biópsias para diagnósticos diversos, sendo composta por um plástico biocompatível, um aro metálico em sua principal abertura e um introdutor de plástico mais rígido. Segundo os médicos, a compactação e expansão da bolsa durante a laparoscopia é trabalhosa e complexa, necessitando de muita habilidade, paciência de manuseio e, muitas vezes, do auxílio de outros profissionais, fazendo que o próprio processo de inserção e retirada da bolsa seja mais difícil do que o procedimento cirúrgico em si.

A próxima figura mostra a indicação de dobragem da bolsa pela fabricante nacional, que é completamente manual e sem uma orientação precisa. A bolsa não possui vincos ou qualquer tipo de facilitador no que diz respeito à sua necessária compactação para ser introduzida dentro do abdômen do paciente.

Figura 4: Processo de dobragem da bolsa de morcelamento.



Fonte: Manual de Instruções do fabricante American Instruments.

Contata-se que os dois instrumentos médicos citados possuem uma abertura para melhorias por meio do design de origami. São levantadas, portanto, as hipóteses, objetivos e delimitação da pesquisa.

1.2 Hipóteses

Com relação aos instrumentais médicos espéculo vaginal e bolsa de morcelamento, as hipóteses de melhoria com a adoção de metodologias em design de origami são da ordem:

- Dentro do aspecto de forma por meio de redução de número de peças e escalabilidade facilitada;
- Dentro do aspecto de fabricação por meio de redução de processos e adoção de materiais mais acessíveis financeiramente;
- Dentro da sustentabilidade por meio de diminuição de matéria-prima utilizada, diminuição de tipos de materiais diferentes envolvidos no produto, adesão de materiais de origem sustentável, descarte facilitado e/ou reduzido e/ou reaproveitável.

1.3 Objetivos

A pesquisa tem por objetivo principal gerar conhecimento teórico e experimental em design de origami aplicado à medicina, e por objetivos específicos:

- Elaborar metodologias baseadas em design de origami para instrumentos médicos;

- Elaborar novos designs adaptados de origamis para os instrumentais espéculo vaginal e bolsa de morcelamento;
- Avaliar e discutir possíveis melhorias de formas, fabricação e descarte dos novos designs.

1.4 Delimitação da Pesquisa

A pesquisa possui abordagem exploratória experimental, com procedimento bibliográfico e documental a partir de estudo de caso de origami para o design de espéculo vaginal do tipo *collins* e bolsa de morcelamento para videolaparoscopia, ambos de plástico, de uso único e descartável atualmente, com fabricação de protótipos por meio de máquina de corte a laser e impressão 3D. O fluxograma abaixo ilustra de forma sucinta a delimitação da pesquisa.

Figura 5: Fluxograma de delimitação da pesquisa.



Fonte: Elaboração da autora.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa propôs desenvolver conhecimento sobre o design de origami aplicado em produtos médicos. Por meio da problematização de dois instrumentais, o espécúlo vaginal e a bolsa de morcelamento, foram elaboradas metodologias projetuais com concepção de novos designs e testagem experimental.

Os resultados encontrados na pesquisa mostram que, em comparação ao design atual vigente da bolsa de morcelamento, o novo design proposto Origami Bag apresentou um aproveitamento de 20% a mais da matéria-prima e uma diminuição espacial de 97,5% da bolsa quando está dobrada, além da diminuição de custo de produção seriada por propor uma substituição do material nitinol por um fecho de plástico denso que apresentou as mesmas propriedades de uso durante a cirurgia.

Os resultados experimentais mostram também que, em comparação ao design atual vigente do espécúlo vaginal tipo *collins* e de uso único descartável, o novo design proposto Ori Espec apresentou melhorias indicadas pelas hipóteses da pesquisa devido à eliminação de confecção de moldes com a substituição de injeção de plástico pela impressão 3D, à facilitação de escalabilidade para diferentes corpos de pacientes, à economia de matéria-prima e processos fabris com adoção de design monolítico que substitui a confecção das três peças integrantes do design atual, e ao agregamento de sustentabilidade pelo uso da matéria-prima do PLA, material advindo de fontes renováveis.

Na revisão bibliográfica foi possível verificar que há uma necessidade de se propor novos formatos para o espécúlo. Contudo, constatou-se também que tão impactante quanto seu design é, sem dúvida, a conscientização das mulheres em conhecerem seus corpos e aprenderem como se dão os exames pélvicos, para que então possam exigir da comunidade médica uma mudança de atitudes mais humanas, empáticas e até mesmo mais profissionais, através do uso de protocolos sistemáticos que visam a segurança e neutralidade dos processos clínicos, muitos deles explicitados nesta pesquisa.

A metodologia científica de design de origami para a medicina foi formulada por nove pilares: questionários, escolha dos produtos, visitas técnicas, revisão bibliográfica, definição de variáveis, definição de requisitos de melhoria, prototipagem, resultados e discussão. Neste contexto, os resultados experimentais de concepção de novo design de espécúlo vaginal e bolsa de morcelamento indicam alguns caminhos de solução das problemáticas que envolvem esses produtos médicos.

A elaboração do ensaio de força dos padrões de vincos de origami tipo tesselação demonstrou ser um método eficaz de comparação e de escolha de designs mais eficientes estruturalmente, pois os resultados de leitura do dinamômetro apontam para origamis que se compactam e/ou se expandem com menos solicitação de força. Além disso, as respostas do dinamômetro demonstraram que o comportamento de deformação dos origamis tesselações mudam de escala substancialmente, apresentando possuem um comportamento não-linear. Essa descoberta é importante pois o comportamento de deformação não-linear de origamis possuem a vantagem de reduzir a energia de impacto e proteção de partes importantes de sistemas estruturais como a de amortecedores.

Pontos fracos dos designs propostos também foram observados e analisados ao longo da discussão dos resultados experimentais, especialmente por conta de ser uma área de pesquisa ainda nova no Brasil. Pela elaboração da metodologia apresentada, juntamente com os experimentos e análise dos resultados, foi possível atender o principal objetivo da presente pesquisa que é a geração de conhecimento teórico e experimental em design de origami aplicado à medicina.

Para estudos futuros são indicados alguns caminhos de modo a tornar os designs propostos mais robustos, seguros e viáveis de serem patenteados e comercializados. A primeira indicação é a testagem do design Ori Espec e Origami Bag em materiais biocompatíveis como polímeros variados com tratamento antibacteriano por zinco, ou uso de filme PELBD com nanopartículas ZnO, entre outros materiais elencados aqui. A segunda indicação é a testagem de biossegurança juntamente com as melhores alternativas sustentáveis ao descarte, com concepção de protótipos e testagem em animais e pessoas, seguindo todos os protocolos de segurança exigidos. A terceira indicação é a atuação experimental de outras variáveis restantes de fabricação partindo do design aqui performado e tornando possível a produção fabril da bolsa de morcelamento e do espécúlo vaginal. A quarta indicação é a testagem de outras estratégias de autodobragem para a bolsa de morcelamento, uma vez que a aplicação em ilhós prejudicou suas funções. A quinta indicação é a avaliação ergonômica das fissuras adotadas no design do espécúlo vaginal, com objetivo de compreender se a estratégia adotada para obter o instrumento final montado influencia no contato e conforto de uso do produto. Além destes testes com voluntárias, cabe também a testagem de usabilidade com médicos(as), avaliações de segurança de abertura do Ori Espec e adaptações no formato de acordo com os resultados.

REFERÊNCIAS

- ABEL, Z. et al. Rigid Origami Vertices: Conditions and Forcing Sets. **Journal of Computational Geometry**, v. 7, n. 1, p. 1–14, 2015.
- ABNT. **Resíduos Sólidos: classificação**. Brasil, 2004.
- ABRELPE. **Estimativas Dos Custos Para Viabilizar a Universalização Da Destinação**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf>. Acesso em: 1 out. 2019.
- ABRELPE. **ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- ABREU, S. A. C. **Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo**. Porto: Universidade do Porto, 2015.
- AHMED, H. O. **Color Atlas of Laparoscopy**. As-Sulaymaniyah: University of Sulaimani, 2008.
- ALMEIDA, M. História da Laparoscopia. **Acta Urológica**, v. 1935, p. 9–10, 2002.
- ARGAN, G. C. **História da arte como história da cidade**. 5 th ed. São Paulo: Martins Fontes, 2005.
- ARIO, I.; NAKAZAWA, M. Non-linear dynamic behaviour of multi-folding microstructure systems based on origami skill. **International Journal of Non-Linear Mechanics**, v. 45, n. 4, p. 337–347, 2010.
- ASIEDU, M. N. et al. Design and preliminary analysis of a vaginal inserter for speculum-free cervical cancer screening. **PLoS ONE**, v. 12, n. 5, p. 1–20, 2017.
- ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- AVILA, A. et al. Origami fold states: Concept and design tool. **Mechanical Sciences**, v. 10, n. 1, p. 91–105, 2019.
- BARACAT, F. **Prolapso genital**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/entrevistas-2/prolapso-genital-entrevista/>>. Acesso em: 11 jun. 2020.
- BASSIK, N. et al. Enzymatically Triggered Actuation of Miniaturized Tools. **Journal of the American Chemical Society**, v. 132, n. 46, p. 16314–16317, 2010.
- BATES, C. K.; CARROLL, N.; POTTER, J. The challenging pelvic examination. **Journal of General Internal Medicine**, v. 26, n. 6, p. 651–657, 2011.
- BECKER, M. **Graus de Liberdade em Cadeias Cinemáticas**. São Carlos: [s.n.]. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/85078910-Sem-aula-2-graus-de-liberdade-em-cadeias-cinematicas-prof-dr-marcelo-becker.html>>. Acesso em: 11 jun. 2020.
- BEDFORD, D. **Vector is eart**. Disponível em:

- <<https://www.instagram.com/p/CUihv9Wo0WL/>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- BONSIEPE, G. **Design, Cultura e Sociedade**. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRUTON, J. T. et al. Packing and deploying Soft Origami to and from cylindrical volumes with application to automotive airbags. **Royal Society Open Science**, v. 3, n. 9, 2016.
- BYU CMR, C. M. R. G. **Compliant Mechanism Research: Bending the rules of kinematics since 1994**. Disponível em: <<https://www.compliantmechanisms.byu.edu/>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- CABRAL, I. et al. Exploring geometric morphology in shape memory textiles: Design of dynamic light filters. **Textile Research Journal**, v. 85, n. 18, p. 1919–1933, 2015.
- CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering - An Introduction**. 8. ed. Danvers: John Wiley & Sons, 2010.
- CARDOSO, R. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Cosac Naify, 2012.
- CHEN, Y. et al. Intra-cardiac MR imaging & MR-tracking catheter for improved MR-guided EP. **Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance**, v. 17, n. S1, p. 1–2, 2015.
- CHEN, Y.; PENG, R.; YOU, Z. Origami of thick panels. **Science**, v. 349, n. 6246, p. 396–400, 2015.
- CHEN, Z. et al. Fast Digital Patterning of Surface Topography toward Three-Dimensional Shape-Changing Structures. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 11, n. 51, p. 48412–48418, 2019.
- CONAMA. **Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos: Tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e outras providências**. Brasil, 2005.
- CUETO, G. G.; JIMÉNEZ, R. A. F. Consideraciones sobre la evolución histórica de la cirugía laparoscópica: colecistectomia. **Revista Médica Electrónica**, v. 32, n. 6, 2010.
- DA SILVA JÚNIOR, F. A. G. **Atividade antibacteriana de dispositivos nanoestruturados à base de polipirrol**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019.
- DAVIS, E. et al. Reconstructing David Huffman’s Origami Tessellations. **Journal of Mechanical Design**, v. 135, n. 11, 2013.
- DELEUZE, G. **A Dobra: Leibniz e o barroco**. Campinas: Papirus, 1991.
- DIOKNO, A. C.; BORODULIN, G. A new vaginal speculum for pelvic organ prolapse quantification (POPQ). **International Urogynecology Journal**, v. 16, n. 5, p. 384–388, 2005.
- DUREISSEIX, D. An overview of mechanisms and patterns with origami. **International Journal of Space Structures**, v. 27, n. 1, p. 1–14, 2012.
- EDMONDSON, B. J. et al. **Oriceps: Origami-Inspired Forceps**. Proceedings of the ASME 2013 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems. **Anais...Snowbird: The American Society of Mechanical Engineers**, 2013. Disponível em: <<https://asmedigitalcollection.asme.org/SMASIS/proceedings->

- abstract/SMASIS2013/56031/V001T01A027/284047. Acesso em 21 Jul. 2020.>. Acesso em: 1 out. 2019
- EVELETH, R. Why No One Can Design a Better Speculum. **The Atlantic**, 2014.
- FELTON, S. et al. A method for building self-folding machines. **Science**, v. 345, n. 6197, p. 644–646, 2014.
- FRANCIS, K. C. et al. Origami-like creases in sheet materials for compliant mechanism design. **Mechanical Sciences**, v. 4, n. 2, p. 371–380, 2013.
- FRANCIS, K. C. et al. **From crease pattern to product: considerations to engineering origami-adapted designs**. Proceedings of ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. **Anais...**Buffalo: The American Society of Mechanical Engineers, 2014Disponível em: <<http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=2090926>>. Acesso em: 1 out. 2019
- GARCÍA, N. Plásticos Antibacterianos: Una respuesta innovadora y biocompatible. **Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros**, v. 685, p. 279–282, 2013.
- GARDINER, M. R. **Ori: On the aesthetics of folding and technology**. Austrália: University of Newcastle, 2018.
- GE, Q. et al. Active origami by 4D printing. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- GORNI, A. A. Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos. **Revista Plástico Industrial, Aranda Editora**, p. 230–239, 2001.
- GREENBERG, H. C. et al. Identifying links between origami and compliant mechanisms. **Mechanical Sciences**, v. 2, n. 2, p. 217–225, 2011.
- GUEST, S. D.; PELLEGRINO, S. The folding of triangulated cylinders, Part I: Geometric considerations. **Journal of Applied Mechanics**, v. 61, n. 4, p. 773–777, 1994.
- HAO, G.; YU, J.; LI, H. A brief review on nonlinear modeling methods and applications of compliant mechanisms. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 11, n. 2, p. 119–128, 2016.
- HATORI, K. **History of origami in the east and the west before interfusion**. (R. J. Lang, P. W. Iverson, M. Yim, Eds.)Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education. **Anais...**Cingapore: AK Peters, 2011
- HYDE, R. et al. **Eyeglass : A Very Large Aperture Diffractive Space Telescope**. (Howard A. MacEwen, Ed.)Proceedings of SPIE Highly Innovative Space Telescope Concepts. **Anais...**Washington: SPIE The International Society for Optics and Photonics, 2002
- IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- INTRODUCING Nella VuSleeve, the first-in-class, single-use tissue retraction sheath. . [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://ceekwomenshealth.com/nella-vusleeve>>. Acesso em: 6

- nov. 2019.
- ISWA; ABRELPE. **Roteiro para Encerramento de Lixões** (C. R. V. S. Filho, Ed.). [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/iswa_web3.pdf>. Acesso em: 1 out. 2019.
- IWAKI, M. et al. A programmable DNA origami nanospring that reveals force-induced adjacent binding of myosin VI heads. **Nature Communications**, v. 7, p. 1–10, 2016.
- JACKSON, P. **Folding Techniques for designers: From sheet to form**. London: Laurence King Publishing, 2011.
- JOHNSON, M. et al. Fabricating biomedical origami: a state-of-the-art review. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v. 12, n. 11, p. 2023–2032, 2017.
- JOHNSON, S. **De onde vêm as boas ideias**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.
- KIM, Y. W. et al. Single-Port Laparoscopic Myomectomy Using a New Single-Port Transumbilical Morcellation System: Initial Clinical Study. **Journal of Minimally Invasive Gynecology**, v. 17, n. 5, p. 587–592, 2010.
- KING, H. The speculum finally gets redesigned – by women. **The Conversation**, 2017.
- KNITTEL, C. E. et al. Self-folding textiles through manipulation of knit stitch architecture. **Fibers**, v. 3, n. 4, p. 575–587, 2015.
- KURIBAYASHI, K. et al. Self-deployable origami stent grafts as a biomedical application of Ni-rich TiNi shape memory alloy foil. **Materials Science and Engineering A**, v. 419, p. 131–137, 2006.
- KUZUYA, A. et al. Nanomechanical DNA origami “single-molecule beacons” directly imaged by atomic force microscopy. **Nature Communications**, v. 2, n. 1, p. 448–449, 2011.
- LANG, R. Origami: Complexity in Creases (Again). **Engineering and Science**, v. 67, n. 1, p. 5–19, 2004.
- LANG, R. J. **When Math Met Origami | Google Zeitgeist**. Disponível em: <<https://youtu.be/-9EvAY8xCBc>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- LANG, R. J. et al. A Review of Thickness-Accommodation Techniques in Origami-Inspired Engineering. **Applied Mechanics Reviews**, v. 70, n. 1, p. 1–20, 2018.
- LI, S. et al. Fluid-driven origami-inspired artificial muscles. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 50, p. 13132–13137, 2017.
- LU, K. J.; KOTA, S. Topology and dimensional synthesis of compliant mechanisms using discrete optimization. **Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME**, v. 128, n. 5, p. 1080–1091, 2006.
- MAILACH, D. **LOTUS: Speculum Redesign**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.studentshow.com/gallery/33407783/LOTUS-Speculum-Redesign>>. Acesso em: 6 nov. 2019.

- MARTÍN, P. P. S. **Manual de Introdução à Ginecologia Natural**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bauti Produções, 2019.
- MARTINEZ, R. V. et al. Elastomeric Origami : Programmable Paper-Elastomer Composites as Pneumatic Actuators. **Advanced Functional Materials**, v. 22, n. 7, p. 1376–1384, 2012.
- MAZZANTI, V.; MALAGUTTI, L.; MOLLICA, F. FDM 3D printing of polymers containing natural fillers: A review of their mechanical properties. **Polymers**, v. 11, n. 7, 2019.
- MEHNER, P. J. et al. Toward engineering biological tissues by directed assembly and origami folding. **American Mathematical Society AMS Non-Series Monographs**, v. 95.2, p. 545–555, 2015.
- MERALI, Z. “Origami engineer” flexes to create stronger, more agile materials. **Science**, v. 332, n. 6036, p. 1376–1377, 2011.
- MIYASHITA, S. et al. Self-folding miniature elastic electric devices. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- MIYASHITA, S. et al. **An Untethered Miniature Origami Robot that Self-folds, Walks , Swims, and Degrades**. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). **Anais...**Seattle: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2015Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7139386>>. Acesso em: 1 out. 2019
- MIYASHITA, S. et al. **Ingestible, controllable, and degradable origami robot for patching stomach wounds**. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). **Anais...**Estocolmo: IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7487222>>. Acesso em 21 Jul. 2020.>
- MORGAN, M. R. et al. Towards developing product applications of thick origami using the offset panel technique. **Mechanical Sciences**, v. 7, n. 1, p. 69–77, 2016.
- MULLER, L. **Tratamento com plasma frio em PELBD para desenvolvimento de filmes antibacterianos contendo nanopartículas de ZnO, amido e quitosana**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- NELSON, T. G. et al. Facilitating deployable mechanisms and structures via developable lamina emergent arrays. **Journal of Mechanisms and Robotics**, v. 8, n. 3, 2016.
- ONAL, C. D.; WOOD, R. J.; RUS, D. An Origami-Inspired Approach to Worm Robots. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 18, n. 2, p. 430–438, 2013.
- OVERVELDE, J. T. B. et al. Rational design of reconfigurable prismatic architected materials. **Nature**, v. 541, n. 7637, p. 347–352, 2017.
- PERAZA-HERNANDEZ, E. A. et al. Origami-inspired active structures: A synthesis and review. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- RAAB, M. et al. Shifting molecular localization by plasmonic coupling in a single-molecule mirage. **Nature Communications**, v. 8, p. 1–6, 2017.

- ROSSMANN, J. S. Built to spec?: The vaginal speculum as a case study of inadequate design. **Ambidextrous**, p. 47–49, 2008.
- ROTHEMUND, P. W. K. Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. **Nature**, v. 440, n. 7082, p. 297–302, 2006.
- SANDELOWSKI, M. This most dangerous instrument: propriety, power, and the vaginal speculum. **Journal of obstetric, gynecologic, and neonatal nursing: JOGNN / NAACOG**, v. 29, n. 1, p. 73–82, 2000.
- SARGENT, B. et al. Heat set creases in polyethylene terephthalate (PET) sheets to enable origami-based applications. **Smart Materials and Structures**, v. 28, n. 11, 2019.
- SCHMIDT, E. J. et al. **Intra-Cardiac MRI Catheter for EP Ablation Monitoring: Preliminary Studies**. Proceedings of the 19th annual meeting of International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM). **Anais...**Montreal: 2011Disponível em: <<https://cds.ismrm.org/protected/11MProceedings/files/3741.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2019
- SCHWAB, K. **Frog redesigns the dreaded gynecology exam**Fast Company. Estados Unidos: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.fastcompany.com/90146019/frog-redesigns-the-dreaded-gynecology-exam>>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- SEEHUSEN, D. A. et al. Improving women’s experience during speculum examinations at routine gynaecological visits: Randomised clinical trial. **British Medical Journal**, v. 333, n. 7560, p. 171–173, 2006.
- SHUMAKOV, K.; SHUMAKOV, Y. **Origami Magic Ball Wonders: From dragon’s egg to hot air balloon**. [S.I.]: Oriland, 2001.
- SORENSEN, K.-J. **Rigid foldable origami with flexible joints**. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:3832129>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- SORGUÇ, A. G.; HAGIWARA, I.; SELÇUK, S. A. Origamics in architecture: a medium of inquiry for design in architecture. **Metu Journal of the Faculty of Architecture**, v. 26, n. 2, p. 235–247, 2009.
- STROBL, H. **Special Snapology: A simple and cheap method to make convex polyhedra models**. Disponível em: <<http://www.knotology.eu/PPP-Jena2010e/start.html>>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- TACHI, T. Rigid-foldable thick origami. In: LANG, R. J.; IVERSON, P. W.; YIM, M. (Eds.). . **Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education**. Singapore: A K Peters, 2011. p. 253–263.
- TAYLOR, A. et al. Intracardiac magnetic resonance imaging catheter with origami deployable mechanisms. **Journal of Medical Devices**, v. 10, n. 2, p. 2–3, 2016.
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. **Digital Folding Design and Deformation Test of Eleven Origami Tessellations**. (V. Viana, Ed.)Geometrias’19: Polyhedra and Beyond & Aproved’s 5th Internacional Conference. **Anais...**Porto: Aproved -

- Associação dos Professores de Geometria e de Desenho, 2019Disponível em: <www.aproged.pt/geometrias19.html>. Acesso em: 1 out. 2020
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. Revisão de pesquisas em design de origami na área médica Review of origami design researches in medical field. **Estudos em Design**, v. 28, n. 3, p. 67–81, 2020a.
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. Pesquisa em Design de Origami na Área da Medicina: Inovações Científicas da Orimimética em Instrumentais (PT/BR). In: MENEZES, M. DOS S.; PASCHOARELLI, L. C. (Eds.). . **Design: Tecnologia a serviço da qualidade de vida**. 1. ed. Bauru: Canal 6, 2020b. p. 155–172.
- TEIXEIRA, S. A.; BOTURA JR, G.; YAMADA, T. R. U. **Problemáticas de design do espéculo vaginal: Estudo sobre irregularidades do instrumento ginecológico**. (C. B. F. Barros, C. T. Marinho, B. R. do Nascimento, Eds.)Pesquisa e design: De(s)colonizando o design. **Anais...**Fortaleza: Nadifúndio, 2021
- TIBBITS, S. **The emergence of “4D printing”**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0gMCZFHv9v8&t=8s>>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- TOBARO, E. T. **Desenvolvimento de capa cosmética para prótese de membro inferior utilizando tecnologias de prototipagem rápida**. Bauru: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2021.
- TOLLEY, M. T. et al. Self-folding origami: Shape memory composites activated by uniform heating. **Smart Materials and Structures**, v. 23, n. 9, 2014.
- TURNER, N.; GOODWINE, B.; SEN, M. A review of origami applications in mechanical engineering. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 230, n. 14, p. 2345–2362, 2016.
- VENEZIANO, R. et al. Role of nanoscale antigen organization on B-cell activation probed using DNA origami. **Nature Nanotechnology**, v. 15, p. 716–723, 2020.
- VOLPATO, N. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blücher, 2017.
- WANG, F. et al. Folding to Curved Surfaces: A Generalized Design Method and Mechanics of Origami-based Cylindrical Structures. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1–10, 2016.
- WHEELER, C. M.; CULPEPPER, M. L. Soft origami: Classification, constraint, and actuation of highly compliant origami structures. **Journal of Mechanisms and Robotics**, v. 8, n. 5, 2016.
- WOLFORD, J. **3d printed vaginal speculums for utilization within screen-and-treat cervical neoplasia programs in low-resource countries**. [S. I.]: [s.n.]. Disponível em: <<https://challenge.onclive.com/posts/16522>>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- WYPYCH, G. **Handbook of Polymers**. 2nd. ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2016.
- YAMADA, T. R. U. **Estruturas flat foldable em Bambu Laminado Colado baseadas em**

- técnicas de dobra e corte do origami e do kirigami.** Bauru: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.
- YANG, J. et al. Aptamer-Binding Directed DNA Origami Pattern for Logic Gates. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 8, n. 49, p. 34054–34060, 2016.
- ZHAO, R. et al. Kirigami enhances film adhesion. **Soft Matter**, v. 14, n. 13, p. 2515–2525, 2018.
- ZHU, S.; LI, T. Hydrogenation-Assisted Graphene Origami and Its Application in Programmable Molecular Mass Uptake, Storage, and Release. **ACS Nano**, v. 8, n. 3, p. 2864–2872, 2014.
- ZIRBEL, S. A. et al. **Accommodating thickness in origami-based deployable arrays.** Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. **Anais...**Portland: The American Society of Mechanical Engineers, 2013

GLOSSÁRIO

Células B: um tipo linfócito do sistema imunológico que tem importante papel na imunidade do corpo humano.

Chorume: líquido poluente originado de processos biológicos, químicos e físicos provenientes da decomposição de resíduos orgânicos.

Cinemática: ramo da mecânica clássica que estuda o movimento de pontos, objetos e sistema de objetos desconsiderando a massa e a fonte do movimento.

Coefficiente de Poisson Negativo: materiais que se expandem quando tracionados e contraem-se quando comprimidos, também conhecidos como auxéticos ou antiborrachas.

Coefficiente de Poisson: mede a deformação transversal de um material homogêneo e isotrópico.

Dobradura Planificável ou *Flat Foldable*: estrutura dobrável tem a capacidade de se achatar por completo quando não está em uso.

FDA: Órgão estadunidense que protege a saúde pública avaliando a segurança, eficiência e proteção de drogas, dispositivos médicos, cosméticos, vacinas, entre outros. Equivale à ANVISA brasileira.

Fornículos: são sobressalências localizadas entre o fim do canal vaginal e o começo do colo do útero.

Grau de Liberdade ou *Degrees Of Freedom (DOF)*: número de parâmetros independentes que define a posição de um corpo no espaço em qualquer instante.

***Grundbegriff*:** significa conceito básico em alemão.

Hidrofílico: característica de material que puxa água para si.

Hidrólise: reação de decomposição ou alteração de substância pela água.

Introito: é a localização da abertura da vagina na vulva.

Isotrópico: material que possui propriedades físicas constantes independente da direção em que se aplica a força para deformá-lo.

Lúmen: é um termo para cavidade em formato de tubo dentro do corpo humano, como as artérias e o intestino.

Mecanismo Compatível ou *Compliant Mechanism*: é um mecanismo que ganha mobilidade devido à deflexão de membros flexíveis no lugar de juntas ou dobradiças móveis

Monolítico: design de produto montado a partir de uma única folha ou bloco de material.

Nitinol (NiTi): liga metálica de níquel e titânio, possui efeito térmico de memória e superelasticidade.

Origami Tesselação: é um tipo de dobradura que possui repetidos padrões geométricos no papel.

Overhang: efeito que ocorre quando uma nova camada de material é parcialmente suportada pela camada anterior na impressão 3D.

Padrão de Vincos ou Crease Pattern: estratégia de mapeamento do papel- diagramação de conjunto de linhas diferenciadas que representam as dobras vales e dobras montanhas de determinados modelos de origami.

Pompeia: uma extinta cidade (século VI a.C. a I d.C.) do Império Romano próxima à Nápoles, na atual Itália.

Ponte ou Bridging: capacidade do filamento ser depositado no ar sem ajuda de suporte, solidificando-se antes de cair.

Retração: configuração que faz com que a impressora retraia o filamento ainda sólido antes de chegar líquido ao bico extrusor.

Router CNC: máquina de corte computadorizado que pode furar, rebaixar, frisar ou cortar diversos materiais em eixos X, Y e Z.

Scaffold: estruturas tridimensionais com partes porosas que promovem a proliferação celular.

Stent Cardíaco ou stent graft: endoprótese ou dispositivo flexível em formato de tubo capaz de ser dobrado e encaixado em pequenos espaços, muito comumente utilizado em cirurgias minimamente invasivas.

Tesselação ou Tessellation: recobrimento de uma superfície com polígonos, congruentes ou não, sem ter espaço entre eles e de modo que a superfície total seja igual ao espaço particionado.

Usabilidade: facilidade e comodidade no uso de um produto, relaciona-se ao conforto e eficiência.

Viagem ou Travel: caminho que o filamento percorre durante a impressão 3D.

Vinco: junta de dobradiça rotativa formada a partir da deformação do material, ou seja, é um recurso linear onde ocorre uma dobra.

Waterbomb: um origami tesselação também conhecido como Magic Ball, design de Katrin e Yuri Shumakov.