

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Design

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE CONTROLE DE DISTORÇÕES PARA
APLICAÇÃO EM PROBLEMAS DE DESIGN DE SUPERFÍCIE DE FORMAS
TRIDIMENSIONAIS NÃO PLANIFICÁVEIS**

Cilene Estol Cardoso

Dissertação de mestrado
apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Design da
Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como requisito
parcial da obtenção do título de
Mestre em Design, com ênfase
em Design e Tecnologia.

Porto Alegre

2009

Cilene Estol Cardoso

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE CONTROLE DE DISTORÇÕES PARA
APLICAÇÃO EM PROBLEMAS DE DESIGN DE SUPERFÍCIE DE FORMAS
TRIDIMENSIONAIS NÃO PLANIFICÁVEIS**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção
do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação
em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 24 de julho de 2009.

Prof. Wilson Kindler, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:

Dr. Eduardo Andre Perondi
Orientador

Dra. Evelise Anicet Rüttschilling
Examinadora Interna

Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Co-Orientador

Dr. Régio Pierre da Silva
Examinador Interno

Dra. Neusa Mariza Leite Rodrigues Félix
Examinadora Interna

Pai e Mãe
eu dedico esta
pesquisa à vocês.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, mais do que pelo dom da vida, pela vontade de viver e por fazer de mim uma pessoa melhor a cada dia.

Ao meu querido orientador Eduardo Perondi e o meu querido co-orientador Fábio Gonçalves Teixeira, por terem contribuído com minha formação, me ensinado a importância da ciência e o ato de educar, do qual para mim são exemplos a seguir.

Ao meu querido Gerson Klein, que foi um dos pilares deste trabalho.

A Oxford®, a Tramontina® e a Grendene®, por terem se mostrado grandes empresas, como de fato são, ao somarem forças de pesquisa que geram crescimento e melhoria de processos e produtos. Meu muito obrigado por servirem de exemplo e estímulo para futuros trabalhos interdisciplinares entre a universidade e a indústria.

A toda equipe do NDS – Núcleo de Design de Superfície, por suscitar em mim e em muitas pessoas, a paixão pelo design de superfície, em especial a Professora Evelise Anicet Rütshilling por ter me acolhido e contribuído, não somente com esta pesquisa, mas efetivamente com minha formação em design de superfície.

A toda equipe do VID – Virtual Design, pelo constante apoio e incentivo.

A toda equipe do LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais, pela contribuição e disponibilidade.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, pela oportunidade concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia, sua coordenação, funcionários e professores pelas constantes contribuições e ensino de qualidade.

Aos membros da Banca Examinadora, professores Régio Silva, Evelise Anicet Rüttschilling e Neusa Félix.

Ao professor, designer e escritor Fábio Mestriner pela disponibilidade, direcionamento e exemplo.

À Ada Schwartz por toda a contribuição, mas principalmente, por ter me direcionado ao encontro do objeto de estudo desta pesquisa.

Ao meu querido amigo Roberto Faller pelas incansáveis ajudas.

À Dorothy Ballarini e ao Professor Adolfo Bittencourt pelas orientações e encaminhamentos.

Aos meus colegas e amigos que me acompanharam nesta jornada e fizeram dela um momento especial.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. E, finalmente, a todos aqueles que eu muito amo e por muito tempo deixei de conviver por causa deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um método de controle de distorção adequado ao design de superfície de produto industrial, com forma tridimensional não planificável, produzido em larga escala, de modo a minimizar as distorções gráficas procedentes da aplicação de uma imagem bidimensional em um objeto tridimensional com superfície não planificável, considerando, principalmente, a complexidade da geometria do objeto.

Essa pesquisa justifica-se quando se verifica o aumento de produtos com formas não planificáveis no mercado e a visível dificuldade dos profissionais em resolver problemas de distorções das imagens quando o objeto tem uma geometria complexa. Além disso, o estudo visa contribuir também com a redução de custos de desenvolvimento desse tipo de produto, já que estuda um método que possibilita a verificação digital, eliminando os custos físicos de tentativa e erro.

O método utiliza recursos de representação paramétrica de superfícies, que viabilizam a manipulação de objetos tridimensionais complexos no meio computacional e que são definidos por equações que relacionam um domínio paramétrico plano e o espaço tridimensional. Para cada uma das dimensões (x , y e z) do espaço tridimensional, existe uma equação que faz a relação com o espaço paramétrico bidimensional de coordenadas u e v . Dentre esses recursos, os mais utilizados são: mapeamento de textura e *render to texture*. A indústria de desenhos animados e games tridimensionais costuma utilizar com frequência estes recursos computacionais para melhorar o realismo de suas imagens. Nesta pesquisa, estuda-se a possibilidade de direcionar essas ferramentas computacionais para a indústria de produtos físicos manufaturados produzidos em série.

A pesquisa propõe-se estudar três casos de produtos com superfícies não planificáveis de materiais distintos e processos de produção diferentes entre si. A partir dos três estudos de casos é proposto o método que visa permitir a solução sistematizada dessa classe de problema relacionado às distorções. A verificação do método é realizada, com resultados significativos, em conjunto com três grandes

empresas nacionais localizadas da região sul do Brasil. O primeiro estudo de caso consiste em uma tigela de cerâmica da empresa Oxford®; o segundo, uma chaleira de metal da empresa Tramontina®, e o terceiro, uma sandália de polímero da empresa Grendene®.

Assim, por meio desta pesquisa, espera-se ampliar a área do conhecimento que circunscribe o design de superfície, ampliando os meios que facilitem a atividade projetual e apontando para a necessidade de instrumentos tecnológicos que venham facilitar os projetos de superfícies de objetos com formas não planificáveis.

Palavras-chave: design de superfície não planificável, produto manufaturado, distorção visual, correspondência entre espaço tridimensional e paramétrico.

ABSTRACT

This work aims to develop a distortion control method adequate for surface design of mass-produced industrial products with non-planable tridimensional shape, so as to minimize the graphic distortions resulting from the application of a bidimensional image onto a tridimensional object with non-planable surface, taking into consideration mainly the complexity of the object's geometry.

The justification for this research lies in the increase of products with non-planable shapes available on the market and in the clear difficulty of professionals to solve image distortion problems when the object presents complex geometry. Besides, this research aims to contribute to the reduction of costs of developing this kind of product, seeing that it studies a method that enables digital verification so eliminating the physical costs of trial and error.

The method uses resources of parametric representation of surfaces, which enable the manipulation of complex 3D objects in the computational environment, and which are defined by equations that relate one plane parametric domain and the tridimensional space. For each dimension (x , y e z) of the tridimensional space there is an equation that makes the relation with the bidimensional parametric space with coordinates u and v . The most frequently used computational resources are texture mapping and render to texture, which are often used by the industry of 3-D animation to improve the realism of their images. In this work we study the possibility to apply these computational tools in the industry of manufactured products.

This research contemplates three case studies of products with non-planable surfaces of different materials and different manufacturing processes. We then propose a method that allows a systematized solution for distortion-related problems. The verification of the method, which showed meaningful results, was carried out together with three large national enterprises located in the southern region of Brazil. The first case study consists in a ceramic bowl by Oxford®; the second, a metal kettle by Tramontina®; and the third, a polymer sandal by Grendene®.

With this research we expect to expand the field of knowledge in which surface design is inserted thus extending the resources for the projectual activity and pointing to the need for technological tools that may help with the projects of surfaces of objects with non-planable shape.

Key-words: non-planable surface design, manufactured product, visual distortion, tridimensional and parametric space correspondence.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	18
1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	22
1.3 PROBLEMA PRINCIPAL A SER ABORDADO	22
1.3.1 Variáveis.....	22
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	22
1.4.1 Objetivo Geral.....	22
1.4.2 Objetivos Específicos	23
1.5 HIPÓTESE DE PESQUISA.....	24
1.6 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	24
1.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	26
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1 SUPERFÍCIE	27
2.2 DESIGN DE SUPERFÍCIE	28
2.3 SUPERFÍCIES PLANIFICÁVEIS.....	35
2.4 SUPERFÍCIES NÃO PLANIFICÁVEIS.....	40
2.5 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE SUPERFÍCIES NÃO PLANIFICÁVEIS.....	46
2.5.1 Produtos com superfícies não planificáveis de cerâmica.....	46
2.5.2 Produtos com superfícies não planificáveis de metal.....	53
2.5.3 Produtos com superfícies não planificáveis de polímero.....	58
2.6 RECURSOS COMPUTACIONAIS	62
2.6.1 Superfícies Paramétricas	63
2.6.2 Processo de Texturização Computacional	65
2.6.3 Render to Texture.....	75
3. METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO.....	79

4. MÉTODO DE CONTROLE DE DISTORÇÃO.....	83
4.1 ETAPA 1 - CONSTRUÇÃO DO MAPA 1	86
4.2 ETAPA 2 - CONSTRUÇÃO DO MAPA 2	87
4.3 ETAPA 3 - CONSTRUÇÃO DA IMAGEM 2D DISTORCIDA.....	88
4.4 ESTUDOS DE CASOS.....	90
4.4.1 Estudo de Caso 1 - Tigela de Cerâmica.....	90
4.4.2 Estudo de Caso 2 - Chaleira de Metal.....	102
4.4.3 Estudo de Caso 3 - Sandália de Polímero	117
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	131
6. REFERÊNCIAS	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sandália de polímero.....	20
Figura 2: Vaso de pico - 4.000 a.C.....	29
Figura 3: Jarro Chinês - 2000 a.C.	29
Figura 4: Vaso Coríntio - 600 a.C.....	29
Figura 5: Garrafa de vidro - Séc.XIV.	29
Figura 6: Vaso de cerâmica.....	30
Figura 7: Cilindro de estampania têxtil	31
Figura 8 : Frigideiras TVS - Linha Easypretty Décors.	33
Figura 9: Vasos de Marcel Wanders	33
Figura 10: Conjunto de louça Oxford®.....	34
Figura 11: Bolsa de plástico Marie-Louise 2007.....	34
Figura 12: Portable USB Karim Rashid 2006	34
Figura 13: Sofá unitário Studioito de camadas de Corion 2006	35
Figura 14: Planificação de um prisma	36
Figura 15: Imagens com áreas correspondentes e formatos distintos	37
Figura 16: Compartimento de câmera	38
Figura 17: Garrafas Termolar	38
Figura 18: Objeto com superfície planificável – desenho de Mauritus Escher.....	39
Figura 19: Objeto com superfície planificável – desenho de Mauritus Escher.....	39
Figura 20: (a) Superfície planificável e (b) Superfície não planificável.....	40
Figura 21: (a) Parabolóide Hiperbólico; (b) Cilindróide; (c) Conóide	41
Figura 22: Embalagem com superfície cônica.....	42
Figura 23: Embalagem com superfície cilíndrica.....	42
Figura 24: Cilindro de impressão de revestimento cerâmico.....	42
Figura 25: Planificação aproximada da superfície esférica - método dos meridianos.....	43
Figura 26: Planificação aproximada da superfície esférica - método dos paralelos.....	43
Figura 27: Superfícies com áreas correspondentes	45
Figura 28: Louças da Cerâmica Oxford®	47
Figura 29: Cerâmica inspirada na obra de Antoni Gaudí	48
Figura 30: Tigela de cerâmica - Estudo de caso desta pesquisa	48
Figura 31: Simulação de aplicação da imagem plana na superfície curva do objeto.....	49
Figura 32: Processo de impressão tampográfico	50

Figura 33: Imagem bidimensional.....	51
Figura 34: Tigela com distorções visuais.....	51
Figura 35: (a) Imagem original; (b) Imagem 2D distorcida	52
Figura 36 - Frigideiras Tramontina® - Linha Vivacor.....	53
Figura 37: Embalagens expandidas Nestlé®	53
Figura 38: Protótipos experimentais da latas expandidas Nestlé®	54
Figura 39: Máquina de expansão de protótipos	55
Figura 40: Produto selecionado para estudo de caso desta pesquisa	55
Figura 41: Simulação de aplicação da imagem plana na superfície curva do objeto.....	56
Figura 42: Impressão serigráfica sobre o blank.....	56
Figura 43: Processo de estampagem profunda da chaleira (conformação).....	57
Figura 44 : Resultados físicos das etapas do processo de conformação da chaleira.....	57
Figura 45 : Embalagens de polímero com geometria não desenvolvível	58
Figura 46 - Sandália de polímero	59
Figura 47: Sandália de Polímero – estudo de caso desta pesquisa	59
Figura 48: Planificação da sandália.....	59
Figura 49: Simulação de aplicação da imagem plana na superfície curva do objeto.....	60
Figura 50: Processo de tratamento de superfície da sandália	61
Figura 51: Protótipo de referência	61
Figura 52: Mapeamento de uma superfície tridimensional para um espaço paramétrico	64
Figura 53: Correspondência entre o espaço tridimensional e o espaço paramétrico.....	64
Figura 54: Correspondência entre o espaço tridimensional e o espaço paramétrico.....	65
Figura 55: Imagem bidimensional em formato quadrado	66
Figura 56: Projeção Planar	66
Figura 57: Mapa de textura original da superfície paramétrica do cilindro	67
Figura 58: Projeção esférica.....	68
Figura 59: Representação de projeção cilíndrica	69
Figura 60 - Representação de projeção planar	70
Figura 61 - Representação de projeção planar	70
Figura 62: Decomposição da superfície do cilindro em 16 partes planares	71
Figura 63: Desconectividades na malha (u, v) representadas pelas linhas verdes.....	72
Figura 64: Função de Correspondência	73
Figura 65: Função de correspondência	74
Figura 66: Manipulação de vértice.....	74
Figura 67: Exemplificação de um processo com distorção	77
Figura 68: Exemplificação de um processo de controle de distorção usando a	

ferramenta <i>render to texture</i>	78
Figura 69: Produtos selecionados para estudos de casos.....	83
Figura 70: Padrão visual desenvolvido para aplicação	84
Figura 71: Diagrama explicativo da etapa 1 do método de controle de distorção.....	86
Figura 72: Diagrama explicativo da etapa 2 do método de controle de distorção.....	87
Figura 73: Diagrama explicativo da etapa 3 do método de controle de distorção.....	88
Figura 74: Protótipo de referência físico.....	90
Figura 75: Imagem bidimensional desenvolvida para ser aplicada no protótipo de referência.....	90
Figura 76: Modelagem da tigela	91
Figura 77: Molde da tigela feito com material odontológico	92
Figura 78: Aplicação da imagem bidimensional conforme o mapa original.....	93
Figura 79: Comparação da imagem no objeto físico e no virtual conforme o mapa original.	93
Figura 80 - Comparação da imagem no objeto físico e no virtual conforme o mapa 1	94
Figura 81: Comparação dos mapas original (a) e mapa 1 (b)	95
Figura 82: Manipulação de arestas	95
Figura 83 : Imagem bidimensional.....	96
Figura 84: Aplicação da imagem bidimensional no objeto conforme o mapa 1	96
Figura 85: Aplicação da imagem bidimensional no objeto conforme o mapa 2	97
Figura 86: Comparação entre os mapas 1 e 2	98
Figura 87: Utilização do recurso computacional <i>render to texture</i>	99
Figura 88: Imagem 2D distorcida.....	100
Figura 89: Verificação computacional do método - “imagem 2D distorcida” aplicada na superfície do objeto tridimensional, conforme mapa 1	100
Figura 90: Protótipo sem a aplicação do método de controle de distorção.....	101
Figura 91: Protótipo com a aplicação do método de controle de distorção.....	101
Figura 92: Imagem bidimensional desenvolvida para ser aplicada no protótipo de referência físico	102
Figura 93: Protótipo de referência físico.....	102
Figura 94: Modelagem com muitos polígonos.....	103
Figura 95: Modelagem simplificada da chaleira	103
Figura 96: Simulação virtual	104
Figura 97: Aplicação da imagem bidimensional conforme o mapa original.....	104
Figura 98: Planificação do modelo tridimensional no espaço euclidiano	105
Figura 99: Projeção planar	106
Figura 100: Distribuição da imagem bidimensional no objeto tridimensional conforme	

o mapa gerado a partir da projeção planar.....	106
Figura 101: Distribuição da imagem bidimensional no objeto tridimensional conforme mapa 1.....	107
Figura 102: Comparação dos mapas	107
Figura 103: Imagem bidimensional (módulo)	108
Figura 104: Seleção das faces	109
Figura 105: Desembrulho automático no espaço paramétrico	110
Figura 106: “Costura”do mapa no espaço paramétrico	110
Figura 107: Desencaixe do desenho nas arestas de fechamento.....	111
Figura 108: Repetição da imagem no espaço paramétrico	112
Figura 109: Comparação dos mapas 1 e 2	112
Figura 110: Utilização do recurso computacional <i>render to texture</i>	113
Figura 111: Imagem 2D distorcida.....	114
Figura 112: Verificação computacional do método - “imagem 2D distorcida” aplicada na superfície do objeto tridimensional, conforme mapa 1.....	115
Figura 113: (a) imagem 2D distorcida; (b) fundo; (c) imagem 2D distorcida com fundo	115
Figura 114: Protótipo sem a aplicação do método de controle de distorção.....	116
Figura 115: Protótipo com a aplicação do método de controle de distorção.....	116
Figura 116: bidimensional desenvolvida para ser aplicada no protótipo de referência	117
Figura 117: Protótipo de referência	117
Figura 118: Modelagem escaneada	118
Figura 119: Modelagem da Sandália.....	118
Figura 120: Área de aparagem da imagem bidimensional	119
Figura 121 : Aplicação da imagem bidimensional conforme o mapa original.....	119
Figura 122: Seleção das faces	120
Figura 123: Desembrulho automático no espaço paramétrico	120
Figura 124: “Costura”do mapa no espaço paramétrico	121
Figura 125: Comparação dos mapas	122
Figura 126: Imagem bidimensional (módulo)	122
Figura 127: Seleção das faces	123
Figura 128: Desembrulho automático no espaço paramétrico	123
Figura 129: “Costura”do mapa no espaço paramétrico	124
Figura 130: “Costura”do mapa no espaço paramétrico	124
Figura 131: Repetição da imagem no espaço paramétrico	125
Figura 132: Repetição da imagem no espaço paramétrico	125
Figura 133: Comparação dos mapas 1 e 2	126

Figura 134: Utilização do recurso computacional <i>render to texture</i>	127
Figura 135: Imagem 2D distorcida.....	128
Figura 136: Verificação computacional do método - “imagem 2D distorcida” aplicada na superfície da sandália tridimensional, conforme mapa 1	128
Figura 137: (a) imagem 2D distorcida; (b) miolo; (c) imagem 2D distorcida com miolo	129
Figura 138: Protótipo sem a aplicação do método de controle de distorção.....	130
Figura 139: Protótipo com a aplicação do método de controle de distorção.....	130

LISTA DE ABREVIações

2D - Bidimensional

3D - Tridimensional

CSN - Companhia Siderúrgica Nacional

ESPM - Escola Superior de Propaganda e Marketing

LdSM - Laboratório de Design e Seleção de Materiais

NDS - Núcleo de Design de Superfície

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VID –Virtual Design - UFRGS

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O homem tem interferido nas superfícies dos objetos desde as civilizações pré-históricas. Essas intervenções já ocorriam tanto em superfícies planas como em superfícies curvas, porém eram personalizadas e construídas manualmente.

Segundo Forty (2007), com a industrialização ocorrida nos séculos XVII e XVIII, fábricas de tecidos, de louças e de mobiliários foram as primeiras a se mecanizarem. Naquela época, os processos produtivos evoluíram e substituíram os processos manuais de tratamento de superfície.

Esses novos processos industriais proporcionaram inúmeras vantagens, porém também geraram novos desafios de projeto de superfície que tiveram que se adequar às novas possibilidades de produção - um exemplo representativo é o dos vasos de cerâmica, que até os primórdios da revolução industrial eram pintados a mão; com a necessidade de padronização e produção em série, as empresas passaram a utilizar adesivos. Tal situação originou um novo problema: como adequar a aplicação de um adesivo bidimensional sobre uma área de superfície com curvatura acentuada?

Talvez os problemas dessa natureza justifiquem por que, o design de superfície tenha-se restringido praticamente, durante muito tempo, inclusive parte do Século XX, às superfícies planas, como os tecidos, os revestimentos de pisos e paredes (cerâmicos, sintéticos, lâminas de madeira), os papéis de paredes e de embrulhos, com a exceção dos objetos que têm suas superfícies tratadas por adição de materiais como: “[...] vernizes, tintas, esmaltes e metalização [...]” (MANZINI, 1993, p. 196), assim como aqueles tratados por subtração do próprio material, como é o caso dos objetos polidos ou jateados com areia.

Após a segunda metade do Século XX, a exigência por inovação de produtos de todos os tamanhos e formatos que destacassem o nome, a marca e a imagem de sua empresa gerou “[...] um estímulo para que a tecnologia da impressão —

tradicionalmente adaptada às superfícies planas – se dedicasse às superfícies complexas.” (MANZINI, 1993, p. 198).

É neste contexto – entre produtos com superfícies complexas – que esta pesquisa vem colaborar com a ampliação das possibilidades de aplicação do design de superfície. Hoje, os designers de superfície, equipados com tecnologia avançada, aumentam suas opções de criação e passam a projetar superfícies de produtos com formas inusitadas, que antes só poderiam ser executadas à mão devido à complexidade de geometrias, limitações de projeto e de processos de produção.

Embora a tecnologia de impressão, os processos produtivos, as ferramentas e os métodos de projeto de produtos tenham evoluído significativamente nas últimas décadas, o tratamento de superfícies de produtos com curvas acentuadas ainda enfrenta desafios, principalmente com relação aos objetos que possuem uma geometria não planificável, ou seja, possuem uma cobertura com “pele” superficial que não se desdobra sobre um único plano sem distorções e rupturas.

Essas dificuldades normalmente não existem em produtos que possuem geometria planificável, isto é, que têm uma superfície que se desdobra sem distorções sobre um único plano (cubos são exemplos de superfícies planificáveis). Nesses casos, o designer de superfície desenvolve o projeto visual em um plano e, posteriormente, envolve o objeto tridimensional com a imagem construída no plano bidimensional com facilidade. Por não apresentarem limitação de planificação, os elementos compositivos bidimensionais não sofrem distorções, porque as faces planificadas de sua superfície, embora rompidas em algumas arestas, não perdem suas verdadeiras grandezas, somente são reposicionadas em outro local do espaço.

Já as superfícies não planificáveis, por não se distenderem sobre um único plano dificultam o design de superfície. Neste tipo de projeto pode-se observar que, por um lado, o designer não consegue projetar no plano e simplesmente aplicar imagem desenvolvida no objeto tridimensional. Por outro lado, o designer também não pode dispensar a planificação, pois os processos atuais de impressão de produtos industriais com formas complexas constituem-se, basicamente ainda, na impressão da imagem em um elemento no plano (substrato) e posterior adaptação desta na forma tridimensional do objeto, o que caracteriza um processo indireto de

tratamento de superfície do objeto – diferente daquele em que o funcionário pintava direto na superfície do produto.

Tal processo de tratamento indireto evidencia as diferenças entre as superfícies planas ou planificáveis e as não planificáveis, salientando o problema de se revestir um objeto curvo não planificável com uma imagem plana, demonstrando que as restrições de projeto estão presentes tanto na geometria complexa do objeto quanto nos processos de fabricação dos mesmos.

A sandália na Figura 1 é um exemplo de produto que representa esse problema de projeto, que consiste no objeto de estudo desta pesquisa. À direita tem-se uma imagem plana desenvolvida para ser aplicada na superfície da sandália; em sua composição existem círculos perfeitos. Ao ser aplicada no objeto tridimensional a imagem sofre distorções visuais, que podem ser facilmente observadas pelos círculos distorcidos na lateral do produto, caracterizando um problema de distorção do desenho.



Figura 1: Sandália de polímero

Fonte: Protótipo de teste produzido para esta pesquisa.

A Computação Gráfica vem estreitando cada vez mais a relação entre problema bidimensional e tridimensional. Um bom exemplo disso são os métodos de texturização utilizados pela indústria de games, desenhos animados, cenários de

projetos arquitetônicos, de produtos e de publicidade, empenhados em melhorar o realismo de suas imagens, buscando melhores maneiras de finalizar a aparência de superfícies.

Alguns desses métodos utilizam recursos de representação paramétrica de superfícies, que viabilizam a manipulação de objetos tridimensionais complexos no meio computacional e que são definidos por equações que relacionam um domínio paramétrico plano e o espaço tridimensional. Para cada uma das dimensões (x, y e z) do espaço tridimensional, existe uma equação que faz a relação com o espaço paramétrico bidimensional de coordenadas u e v. Essa correspondência entre os dois espaços permite que uma imagem seja aplicada e manipulada ponto a ponto sobre a superfície do objeto, a partir de um mapa de imagem no espaço paramétrico. Outro recurso muito utilizado é o *render to texture*, que facilita essa transição entre o bidimensional e o tridimensional porque possibilita a geração de imagens planas distorcidas aptas a compensarem as distorções da imagem, quando aplicada ao objeto tridimensional não planificável.

Este trabalho visa contribuir com a superação das dificuldades resultantes do trabalho com superfícies complexas, propondo um método de projeto de superfície. A pesquisa propõe-se estudar três casos de produtos com superfícies não planificáveis de materiais distintos e processos de produção diferentes entre si, pois se entende que essa diversificação proporciona uma análise comparativa entre os três que enriquece o estudo e concede confiabilidade na verificação do método proposto, de forma não específica, mas geral, ou seja, que pode ser utilizado em diversos tipos de produtos.

A partir dos três estudos de casos é proposto um método que visa permitir a solução sistematizada dessa classe de problema relacionado às distorções que é, posteriormente, verificado na prática industrial. A verificação do método é realizada em conjunto com três grandes empresas nacionais localizadas da região sul do Brasil. O primeiro estudo de caso consiste em uma tigela de cerâmica da empresa Oxford® ; o segundo, uma chaleira de metal da empresa Tramontina® , e o terceiro, uma sandália de polímero da empresa Grendene® .

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa delimita-se à investigação de como definir um método de controle de distorção adequado ao design de superfície visual de produtos industriais físicos com formas geométricas não planificáveis, produzidos em larga escala, que evita ou minimiza as distorções gráficas decorrentes da conformação da imagem bidimensional na forma tridimensional do objeto.

1.3 PROBLEMA PRINCIPAL A SER ABORDADO

Como desenvolver projetos de superfícies visuais de produtos industriais produzidos em série, com formas geométricas não planificáveis, visando produzi-los em diferentes materiais e distintos processos de fabricação, de modo a evitar ou minimizar as distorções gráficas decorrentes da conformação da imagem bidimensional na forma tridimensional do objeto?

1.3.1 Variáveis

A variável dependente do problema de pesquisa é o método de controle de distorção aplicado em design de superfície.

A variável independente do problema de pesquisa é a complexidade geométrica da superfície do objeto a ser tratada.

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um método de controle de distorção adequado ao design de superfície visual de produto industrial com forma tridimensional não planificável, produzido em larga escala, de modo a minimizar as distorções gráficas procedentes da aplicação de uma imagem bidimensional em um objeto tridimensional,

considerando a complexidade da geometria do objeto, o material e o processo de fabricação utilizados.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica que forneça o embasamento teórico necessário ao desenvolvimento de um método de controle de distorção;
- Estudar os métodos adotados pelas indústrias para projetar superfícies visuais de produtos com formas não planificáveis que abordem o problema das distorções;
- Prospectar empresas que possuem o problema relacionado com as distorções e que se interessem em unir esforços na pesquisa e desenvolvimento do método.
- Selecionar três produtos industriais com geometrias não planificáveis, de diferentes materiais e de distintos processos de fabricação, que apresentem dificuldades relacionadas com o problema estudado e que sirvam como elementos de teste para verificação do método proposto;
- Apresentar as conceituações de superfície, design de superfície, superfície planificável, superfície não planificável; alguns processos de fabricação e impressão de produtos com geometrias não planificáveis; demonstrando através dos conceitos e dos processos de fabricação, o problema das distorções;
- Identificar e apresentar recursos projetados pela computação gráfica, o que inclui representação paramétrica de superfícies, correspondência do espaço tridimensional com o espaço paramétrico, mapeamento de textura e *render to texture*.
- Identificar similaridades existentes entre o objeto de pesquisa, considerando o foco de materialização de produtos industriais físicos, e o processo de texturização digital utilizado na computação gráfica em games, desenhos animados, cenários, etc;

- Desenvolver e descrever um método de controle de distorção adequado ao design de superfície para objeto com geometria não planificável, com base na fundamentação teórica e na metodologia de pesquisa;
- Aplicar o método de controle de distorção proposto em protótipos reais utilizando-se a estrutura industrial das três empresas envolvidas com a pesquisa, a fim de verificar sua eficácia.

1.5 HIPÓTESE DE PESQUISA

A manipulação de mapas de imagens utilizando a correspondência paramétrica da superfície permite controlar as distorções visuais.

1.6 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Esta pesquisa se insere em um contexto onde as empresas, frente a uma competição acirrada, não poupam esforços em aprimorar seus produtos e, dessa forma, diferenciarem-se de suas concorrentes. Neste sentido, este estudo visa contribuir com a qualificação e o refinamento de projetos de superfícies para objetos com formas complexas, dando aos produtos um acabamento de superfície diferenciado.

Outra justificativa para esta pesquisa é a atual propagação ininterrupta de novos signos. Santaella (2007, p. XIII) afirma que “[...] desde o advento da fotografia, então do cinema, desde a explosão da imprensa e das imagens, seguida da revolução eletrônica que trouxe consigo o rádio e a televisão (...) o mundo vem sendo crescentemente povoado de novos signos [...]”. Esses acontecimentos estão caracterizando o momento atual, fazendo com que as pessoas sintam-se afetadas pelo mundo dos signos. Manzini (1993, p. 193) reforça esta opinião ao expor que a superfície “[...] concentra muito daquilo que num objeto é significativo para um observador/utilizador: qualidades sensoriais (propriedades ópticas, térmicas, tácteis), valores simbólicos e culturais [...]”. Desse modo, torna-se compreensível o

progressivo interesse das empresas em intervir na superfície de produtos diversos, além do têxtil, do cerâmico e do papel, já que essa interferência pode dar aos produtos um poder estratégico de significação expresso pelos elementos visuais do design de superfície. É com a migração para outros tipos de produtos, com formas mais complexas, que este trabalho se justifica, por propor um método apropriado ao design de superfície, que possibilita a reprodução das imagens de modo adequado, ou seja, sem distorções indesejáveis que possam mudar a significação dos signos contidos na imagem e causar uma mensagem negativa ao produto junto ao público que se quer atingir. Mesmo que a distorção não altere o significado dos elementos compositivos da imagem, a própria distorção, normalmente, por si só traz consigo uma significação que não está associada a sensações positivas.

Esta pesquisa também se torna relevante quando se verifica o aumento de produtos com formas não planificáveis no mercado e a visível dificuldade dos profissionais em resolver problemas de distorções das imagens quando o objeto tem uma geometria complexa. Prova disto é que não foi encontrada qualquer referência bibliográfica de livros e/ou artigos especificamente sobre o problema estudado. Ainda na fase inicial deste estudo, quando se buscava compreender se de fato existiam justificativas para esta pesquisa, entrou-se em contato com designers de cinco grandes empresas que fazem uso de técnicas de design de superfície em seus produtos. Nesta pesquisa questionou-se a existência do problema. Em resposta, todos expressaram suas dificuldades em ajustar o desenho bidimensional, sem distorções, à geometria do objeto tridimensional. E acrescentaram que utilizavam métodos de tentativa e erro para ajustar suas imagens ao objeto tridimensional. Deste modo, o estudo justifica-se também com a redução de custos de desenvolvimento desses produtos, já que estuda um método que possibilita a verificação digital, eliminando todos os custos físicos de tentativa e erro, até então existentes.

Assim, por meio desta pesquisa, espera-se ampliar a área do conhecimento que circunscreve o design de superfície, ampliando os meios que facilitem a atividade projetual e apontando para a necessidade de instrumentos tecnológicos que venham a facilitar os projetos de superfícies de objetos com formas não planificáveis.

1.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa, por estar inserida em uma estrutura de ensino de Design e Tecnologia, além do Design de Produto e de Superfície, também agrega outras áreas do conhecimento como a Computação Gráfica e a Engenharia de Produção, reforçando o aspecto interdisciplinar do Design, que demonstra a importância do trabalho em equipe, o que proporciona a relação de conhecimento específico de áreas distintas, porém complementares, que atuam juntas para uma maior compreensão de problemas e soluções.

Dentro desse contexto, este trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1 - introduz a contextualização do tema, delimitação, variáveis, objetivos, hipótese e justificativa da pesquisa.

Capítulo 2 - apresenta a fundamentação teórica da pesquisa. Um breve levantamento histórico, que destaca exemplos de objetos com superfícies não planificáveis ao longo da evolução humana. Estabelece conceito de superfície, design de superfície, superfície planificável, superfície não planificável. Apresenta os processos industriais utilizados na fabricação dos três produtos definidos para estudo de caso, esclarecendo, em relação com os conceitos, o problema estudado. Ao término do capítulo são expostos os métodos de texturização adotados pela computação gráfica, no sentido de conjecturar sobre sua adaptabilidade à realidade da indústria manufatureira.

Capítulo 3 - aborda a metodologia de pesquisa utilizada, descrevendo os procedimentos utilizados no desenvolvimento deste estudo e o modo como o mesmo foi estruturado.

Capítulo 4 - apresenta, com base na pesquisa de fundamentação teórica, o método de controle de distorção adequado ao design de superfície de produto industrial, com forma tridimensional não planificável, de modo a minimizar as distorções gráficas procedentes da aplicação de uma imagem bidimensional num objeto tridimensional.

Capítulo 5 - apresenta as conclusões e sugestões para pesquisas posteriores.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem por objetivo apresentar os conceitos fundamentais que norteiam esta pesquisa, como: superfície, design de superfície, superfície planificável e superfície não planificável. Também são descritos os processos industriais utilizados na fabricação alguns produtos com superfícies não planificáveis. Por último, são apresentados recursos de computação gráfica, normalmente utilizados pelas indústrias de games e desenhos animados, de modo a estudar a possibilidade de adaptação desses à realidade das indústrias de produtos manufaturados.

2.1 SUPERFÍCIE

Para compreender esta pesquisa, faz-se necessário descrever claramente o conceito de superfície, pois ele é a base deste estudo.

Conforme Manzini (1993, p. 193), superfície de um objeto “é a localização do conjunto dos pontos em que acaba o material de que o objeto é feito e começa o ambiente exterior”. Ele também descreve a superfície como “(...) uma pele, ou seja, de um órgão especializado no papel de interface entre o interior e o exterior”.

Segundo Le Corbusier (1977, p. 9), superfície “é o envelope do volume e pode anular ou ampliar a sua sensação”.

Para Schwartz (2008, p.17) superfície, embora associada a aspectos bidimensionais definidos por comprimento e largura, também é um elemento de circunscrição de corpos, que serve para limitá-los ou delimitá-los, e conseqüentemente, defini-los.

Nesta pesquisa, o conceito de superfície está em consonância com os apresentados acima, ou seja, a superfície é vista como uma “pele tratada” que é

aplicada (estampada¹), em justaposição à superfície-limite de um objeto tridimensional com forma complexa.

2.2 DESIGN DE SUPERFÍCIE

Design de superfície é uma especialidade do design responsável por tratar os aspectos das superfícies de produtos, sejam eles físicos ou virtuais. Segundo Ruthschilling (2008), design de superfície pode ser conceituado como sendo:

“[...] uma atividade criativa e técnica que se ocupa com a criação e desenvolvimento de qualidades estéticas, funcionais e estruturais, projetadas especificamente para constituição e/ou tratamentos de superfícies, adequadas ao contexto sócio-cultural e às diferentes necessidades e processos produtivos.” (RUTHSCHILLING, 2008, p. 23)

Embora seja recente sua expansão e consolidação como um campo do conhecimento e área de atuação profissional, a intervenção do homem na superfície, preocupando-se com sua beleza, tem sua origem no período Neolítico (de 10.000 a 5.000 a.C.). Naquela época, as cerâmicas tinham “[...] suas superfícies tratadas com cores [...] e texturas táteis conseguidas com técnicas primitivas de prensagem sobre o barro úmido, além de acabamentos polidos.” (RUTHSCHILLING, 2008, p. 15)

Ainda nas civilizações antigas, quando o homem tinha um controle muito limitado sobre os materiais e não possuía tecnologia de produção e de impressão, a superfície já se constituía numa área onde o gosto pela decoração era apreciado como forma de expressão, identidade humana e valorização do objeto final.

As Figuras 2 a 5 apresentam vasos de cerâmica que exemplificam a capacidade humana de tratar formas complexas. Percebe-se que, em períodos históricos antigos, o homem já desenvolvia produtos que possuíam geometrias não

¹ A palavra “estampar” em design de superfície é utilizada como sendo o ato de imprimir, reproduzir a imagem construída pelo designer em um substrato qualquer por meio de um molde ou matriz. No entanto, neste trabalho optou-se por usar o termo “aplicar” em substituição do primeiro, a fim de evitar conflito com o termo “estampagem”, nome dado pela Engenharia Mecânica para um processo industrial de conformação de metal, também abordado nesta pesquisa.

planificáveis, demonstrando habilidades e resultados exemplares de tratamento da superfície.



Figura 2: Vaso de pico - 4.000 a.C.
Fonte: Garbini (1979).



Figura 3: Jarro Chinês - 2000 a.C.
Fonte: Lommel (1979).



Figura 4: Vaso Coríntio - 600 a.C.
Fonte: Strong (1979).



Figura 5: Garrafa de vidro - Séc.XIV.
Fonte: Grube (1979).

A complexidade geométrica destes objetos e a quantidade significativa de elementos visuais de composição integrados entre si em suas superfícies sugerem a existência de estudos árduos e prévios de diagramação.

O vaso do chamado estilo Dipylon do século VIII a.C., apresentado na Figura 6, foi desenvolvido no período geométrico da arte grega e é um exemplo de superfície não planificável tratada com rigor geométrico.

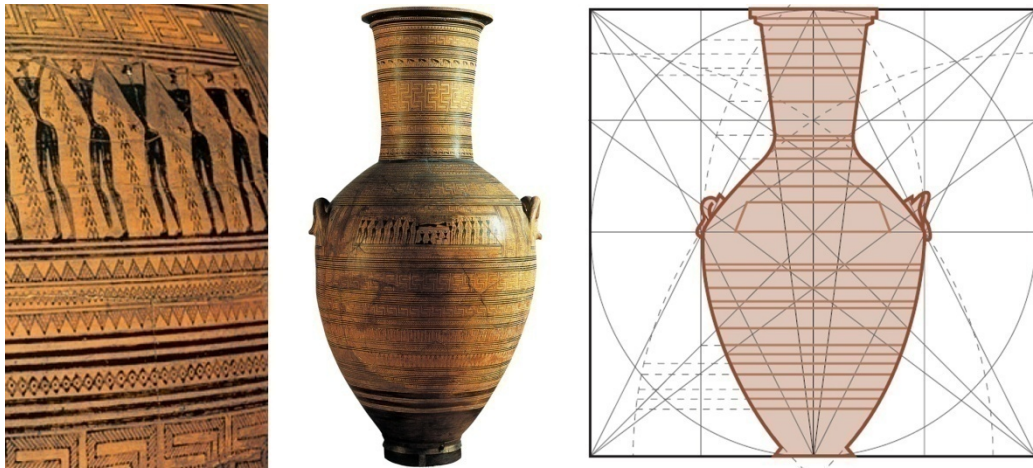


Figura 6: Vaso de cerâmica

http://www.webboom.pt/PDF/LEHAVOP_02609_PagTip01.PDF

Da antiguidade até o advento da industrialização foram desenvolvidos objetos com superfícies ricamente tratadas, no entanto somente na revolução industrial (séculos XVII a XIX), tais superfícies passaram a ser produzidas em meios de fabricação em série, com etapas distintas de projeto e execução, caracterizando então o design de superfície.

Na revolução industrial, como já foi colocado na introdução, fábricas de tecido, de cerâmica e de mobiliário foram as primeiras a reestruturar seus locais e processos de produção dentro do novo contexto que se formava. Um bom exemplo da transição do artesanal para o industrial é colocado por Forty em relação à indústria têxtil:

“A técnica de estampar algodão com blocos de madeira gravados foi desenvolvida no final do século XVII. Na década de 1750, criou-se uma nova técnica, com a utilização de placas de cobre, que eram maiores do que os blocos de madeira e comportavam mais detalhes. [...] em 1796, surgiu outro desenvolvimento técnico: as placas gravadas foram transformadas em cilindros e se tornou possível imprimir todo o comprimento da peça de algodão continuamente, em um único processo mecânico.” (FORTY, 2007, p. 66)

A citação de Forty destaca o momento da história em que a indústria têxtil passa a ter seus desenhos revestindo cilindros tridimensionais (Figura 7) que possibilitaram a produção contínua de tecido em larga escala. Esse fato, possivelmente, colocou o projetista diante de um novo desafio – dar continuidade ao desenho, construindo encaixes perfeitos entre as duas extremidades da chapa, de modo a evitar a percepção da emenda nas arestas de fechamento.



Figura 7: Cilindro de estamparia têxtil

Fonte: Ruthschilling (2008).

Assim, o cuidado com os detalhes das emendas demonstra o quanto um método de design de superfície precisa ser adequado às restrições de processo industrial, como destaca Ruthschilling (2008). Além disso, esse cuidado também salienta as relações existentes entre os espaços bidimensionais e tridimensionais, sendo que, neste exemplo, as três dimensões estão presentes no processo (cilindro) e as duas dimensões no produto (tecido).

Outro exemplo daquela época (Século XVIII) que descreve o direcionamento do trabalho artesanal para a mecanização é o da indústria cerâmica – mais significativo para esta pesquisa, pois aborda produtos com geometrias complexas e não planificáveis. Quando se menciona os primórdios da revolução industrial em relação à cerâmica, a fábrica de Wedgwood, um empresário que se destacou na manufatura de utilitários de cerâmica por volta de 1765, é normalmente citada. Forty cita a cerâmica de Wedgwood ao descrever outra substituição de processo de produção nos primórdios da revolução industrial:

Grande parte da primeira esmaltagem de Wedgwood consistia em imagens e decorações à mão livre num estilo atraente, embora um tanto floreado. Esses desenhos, sendo complicados e difíceis de reproduzir com precisão, não serviam para a produção na quantidade pretendida por Wedgwood. Para evitar as variações e tornar mais barata a esmaltagem, ele experimentou decalques impressos, que eram aplicados aos potes e cozidos. Com o tempo, a parte pictórica dos desenhos em esmalte sobre louça creme passou a ser aplicada em geral com decalques e a mão dos pintores entrava apenas nas bordas e padrões repetidos, que eram capazes de reproduzir com exatidão. O único fator que ainda dava espaço para a variação nos resultados era a habilidade de seus empregados. (FORTY, 2007, p. 45)

A substituição de esmaltes pintados à mão por decalques impressos na fábrica de Wedgwood demonstra a evolução do design de superfície. A aplicação de decalques possibilitou a produção em série e a padronização dos objetos — isso trouxe grandes benefícios para a indústria da época. No entanto, esse tipo de processo de tratamento indireto enfatizou as diferenças entre superfícies planas ou planificáveis e as não planificáveis, salientando as dificuldades de se revestir um objeto curvo com uma imagem plana devido à complexidade da geometria do objeto e suas diferenças com o plano. Possivelmente, quando Wedgwood passou a utilizar os decalques defrontou-se com as limitações de revestir seus utilitários curvos com decalques planos.

Assim, percebe-se que as transformações nos processos de fabricação passam a alterar não somente a quantidade de unidades produzidas, mas também provocam a necessidade de mudança no modo de projetar a superfície. Antes o homem pintava direto no objeto, e provavelmente todos os estudos de diagramação dos elementos compositivos do desenho também fossem feitos diretamente sobre o produto. A partir dos primórdios da revolução industrial, a exemplo de Wedgwood, os processos de impressão de produtos industriais com formas complexas passaram a ser, basicamente, a impressão da imagem no plano e a posterior adaptação desta na forma tridimensional do objeto.

Mesmo com todas as limitações de se acondicionar e/ou revestir um objeto com geometria complexa, atualmente não faltam exemplos de interferência em superfícies de objetos que demonstram o poder de diferenciação que um bom design de superfície pode determinar em um produto.

No foco desta pesquisa, o design de superfície proporciona a caracterização do objeto em sua camada superficial, no todo ou em parte de sua área. A superfície é projetada para diferenciar o objeto tridimensional a partir do volume já configurado, depositando-se sobre ele outro material (tinta, adesivo, etc). Porém essa descrição merece uma ressalva, pois em função do tipo de processo de fabricação existem exceções, ou seja, em alguns produtos de metal (Figura 9), por exemplo, as impressões são feitas ainda em uma superfície plana, e quando o metal é conformado, o desenho já aplicado desloca-se junto com o substrato, neste caso o metal.

Assim, o objeto que antes ou depois de adquirir seu formato final receber um tratamento sobre seu material estará configurando um design de superfície que envolve, reveste o objeto, pois se trata da aplicação de outro material, diferente daquele que delimitava o produto. As frigideiras contemporâneas fabricadas pela TVS ® (Figura 8) possivelmente foram produzidas desse modo.



Figura 8 : Frigideiras TVS - Linha Easypretty Décors.

Fonte: <http://www.tvs-spa.it/default.asp?lang=ita>

Os vasos contemporâneos de Marcel Wanders desenvolvidos para a Puma ® apresentados na Figura 9 também são exemplos de designs de superfícies de objetos com formas não planificáveis.



Figura 9: Vasos de Marcel Wanders

Fonte: Campos (2007).

As louças Oxford® apresentadas na Figura 10 também apresentam desenhos que revestem os volumes dos produtos.



Figura 10: Conjunto de louça Oxford®

Fonte: www.oxford.ind.br

Cabe ainda ressaltar que, segundo Ruthschilling (2008, p. 43), “[...] o design de superfície não se limita à inserção de desenhos, cores e texturas sobre um substrato, cuja função principal seria apenas conferir qualidades às superfícies por meio de projetos de revestimento [...]” – como são os casos estudados nesta pesquisa. Também existem projetos (Figuras 11, 12 e 13) onde o tratamento da superfície é constituído, conforme Schwartz:

“[...] simultaneamente ao volume, numa relação intrínseca, para estruturar o objeto. O objeto depende diretamente da relação entre superfície e volume, só sendo completamente apreendido e caracterizado ao final desta interação, quando somente então passa a existir como produto [...]”. SCHWARTZ (2008, p. 20).



Figura 11: Bolsa de plástico Marie-Louise 2007
Fonte: Campos (2007).



Figura 12: Portable USB Karim Rashid 2006
Fonte: Campos (2007).



Figura 13: Sofá unitário Studioito de camadas de Corion 2006

Fonte: Campos (2007)

A esse tipo de superfície que se constrói junto com o volume Schwartz (2008, p. 20) denominou de “superfície-objeto”. Esta pesquisa, no entanto, não pretende deter-se na análise de distorções desse tipo de superfície, pois a verificação do método de controle de distorção demandariam a produção de matrizes de fabricação, que despenderia altos custos, e além disso, ter-se-ia que considerar restrições processuais de fabricação complexas, como a extração do objeto conformado da matriz. No entanto é esperado que alguns dos princípios abordados nesta pesquisa possam ser utilizados como referência em projetos de superfície-objeto.

2.3 SUPERFÍCIES PLANIFICÁVEIS

Embora esta pesquisa tenha como objetivo o estudo de superfícies não planificáveis, faz-se necessário compreender inicialmente os principais aspectos relacionados às planificáveis, para melhor poder visualizar aspectos gerais importantes do design de superfície de objetos tridimensionais e, posteriormente, identificar o que é característico das superfícies complexas, não passíveis de planificação.

As superfícies planificáveis, também chamadas de desenvolvíveis, são aquelas que podem ser planificadas com exatidão, ou seja, ao longo do processo de planificação não sofrem nenhuma distorção e mantêm suas verdadeiras grandezas.

Segundo Mateus (2006, p. 11): “[...] quando uma superfície regradada pode ser ‘desenrolada’ para um plano, sem provocar ‘pregas’ ou ‘rasgos’, diz-se que a superfície é planificável [...]”. Na prática do desenvolvimento de produtos ou de rótulos de embalagens, no entanto, é comum rasgar (romper), a superfície em algum ponto estratégico para desenrolá-la sobre um plano, sem que isso afete suas verdadeiras grandezas.

Na Figura 14 está apresentado o exemplo de planificação de um prisma.

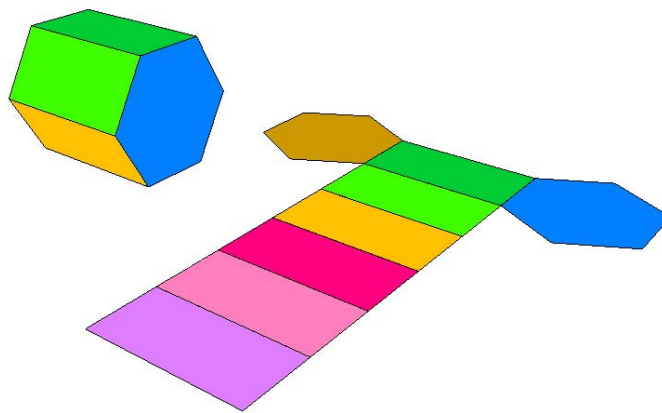


Figura 14: Planificação de um prisma

Fonte: a autora.

As superfícies de diretrizes poligonais - piramidais e prismáticas (Figura 14), são exemplos de superfícies planificáveis, apresentadas com suas faces dispostas lado a lado. Quando a superfície está fechada, constituindo um objeto tridimensional, sua planificação depende da ruptura da superfície em algumas arestas. Essas arestas, também chamadas de arestas de fechamento (pois se referem à posição onde devem ser feitas as costuras na montagem da superfície), apresentam-se duplicadas na planificação. (SILVA, 2004; TEIXEIRA, 2003).

Para qualquer que seja o tipo de superfície desenvolvível, o problema de planificação (processo através do qual se desdobra uma superfície sobre um plano, evitando-se, ao máximo, distorções e rupturas), fica reduzido à determinação das verdadeiras grandezas das faces que compõem a superfície. (SILVA, 2004; TEIXEIRA, 2003).

Uma superfície planificada é apresentada em uma única projeção e em verdadeira grandeza. A verdadeira grandeza é a medida real que pode ser obtida de uma entidade geométrica. É importante ressaltar que verdadeira grandeza consiste em todas as medidas (integrando formato e área). Essa ressalva se faz necessária para que não se confunda “verdadeira grandeza” com “área correspondente”.

A Figura 15 é utilizada para demonstrar que duas imagens podem possuir a mesma área, mas, por terem formatos distintos, apresentam organizações dos elementos compositivos de um design de superfície também diferentes um em relação ao outro. Possivelmente essa consideração seja um tanto óbvia em relação a superfícies desenvolvíveis, no entanto essa compreensão contribui para um maior entendimento sobre o problema das superfícies não desenvolvíveis abordadas nas próximas seções.



Figura 15: Imagens com áreas correspondentes e formatos distintos
Fonte: a autora.

As várias técnicas utilizadas para planificação de superfícies dizem respeito, principalmente, à obtenção das verdadeiras grandezas das faces da superfície e do transporte das respectivas geometrias para a posição de planificação.

Atualmente existem softwares que fazem a planificação automática de objetos com geométrica planificável. O recurso de planificação dos objetos disponibilizados por softwares, como o Pepakura, tem contribuído com o desenvolvimento de produtos industriais (como o apresentado na Figura 16) de diversos segmentos (TRUJILLO, 2007).



Figura 16: Compartimento de câmera
Fonte: Trujillo (2007).



Figura 17: Garrafas Termolar
Fonte: www.termolar.com.br

Na Figura 17, observa-se que a garrafa da esquerda possui uma área impressa planificável, porém tem uma área disponível (não tratada) em seu corpo que é não planificável. Próximo à tampa existe um afunilamento com uma leve curva suficiente para tornar a superfície não passível de planificação sem rasgos. Possivelmente por não possuir a mesma curvatura próxima à tampa, a garrafa da direita foi impressa até o topo do corpo, demonstrando uma provável decisão de projeto condicionada pelo processo de impressão plano.

Em design de superfície de objeto tridimensional desenvolvível, utiliza-se o processo de planificação para elaborar os elementos das zonas de justaposição das faces com facilidade, ou seja, através da planificação o designer consegue visualizar a diagramação conjuntural dos elementos compositivos, verificando e construindo os encaixes sem grandes dificuldades, garantindo que o projeto possua continuidade² e contiguidade³ visual.

² "Continuidade: sequência ordenada e ininterrupta de elementos visuais dispostos sobre uma superfície, garantindo o efeito de propagação." RUTHSCHILLING (2008, p. 65).

³ "Contiguidade: harmonia visual na vizinhança dos módulos, estado de união visual." RUTHSCHILLING (2008, p. 65).

Os objetos tridimensionais apresentados nas Figuras 18 e 19 são construídos a partir de desenhos de Mauritus Escher e expressam exemplarmente a fluência visual entre as faces dos objetos. Demonstram também todo o estudo matemático dos elementos compositivos em relação aos polígonos. Embora perceba-se um trabalho árduo de diagramação dos elementos visuais, fica nítido que o processo de planificação favoreceu o desenvolvimento do projeto, que não possui problemas de montagem posterior, visto que as superfícies dos dois objetos são as mesmas em verdadeira grandeza – montadas (3D) ou planificadas (2D).



Figura 18: Objeto com superfície planificável – desenho de Mauritus Escher
Fonte: Schattschneider e Walker (1997).

A planificação também favorece a construção de *mock-ups* para visualização física do objeto tridimensional, podendo avaliar o resultado visual ainda em fase de desenvolvimento. Por fim, e não menos importante, as superfícies desenvolvíveis pelos processos de “planificação e montagem” – e vice-versa não apresentam dificuldades de impressão. São impressas no plano, e posteriormente, montadas, sem que nenhuma face altere suas verdadeiras grandezas, apenas se deslocado no espaço.



Figura 19: Objeto com superfície planificável – desenho de Mauritus Escher
Fonte: Schattschneider e Walker (1997).

Em direção ao objetivo desta pesquisa cabe ainda apresentar um exemplo que permite diferenciar claramente os dois tipos de superfícies aqui abordadas. Na Figura 20, observam-se duas caixas. Ambas tiveram suas superfícies revestidas com a mesma imagem. Na caixa da esquerda, tem-se um objeto tridimensional com uma superfície desenvolvível, portanto, o desenho se mantém fluente em toda a área do objeto. No entanto, na caixa da direita, pode-se notar uma saliência na estrutura da caixa em sua face esquerda. Esse ressalto curvo (relevo) causou uma distorção da mesma, exemplificando o problema abordado por esta pesquisa, que é aprofundado nas próximas seções.

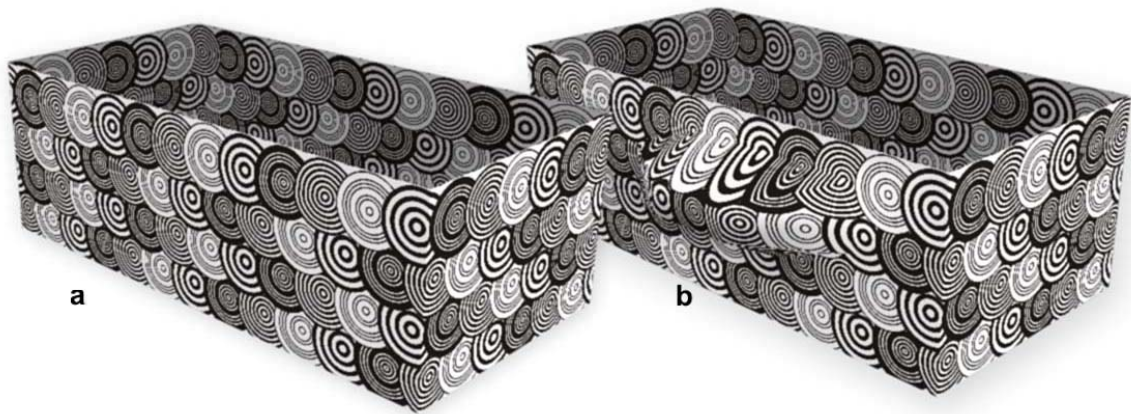


Figura 20: (a) Superfície planificável e (b) Superfície não planificável
 Fonte: a autora

2.4 SUPERFÍCIES NÃO PLANIFICÁVEIS

As superfícies não planificáveis, também chamadas de não desenvolvíveis, são aquelas não passíveis de serem planificadas com exatidão, isto é, ao longo do processo de planificação sofrem distorção e não mantêm suas verdadeiras grandezas.

São superfícies que, quando desenroladas sobre um plano, provocam pregas ou rasgos. Se possuírem uma geometria menos complexa, podem apenas encolher ou esticar tanto os materiais de que são constituídas quanto as imagens aplicadas sobre esses materiais.

As principais superfícies não desenvolvíveis, do ponto de vista geométrico, são: parabolóide hiperbólico, conóide e cilindróide (Figura 21). A diferença entre essas superfícies está no tipo de curva das diretrizes. Essas superfícies só podem ser planificadas por aproximação. O mesmo acontece com as superfícies de revolução — cônica, cilíndrica ou esférica. (SILVA, 2004; TEIXEIRA, 2003).

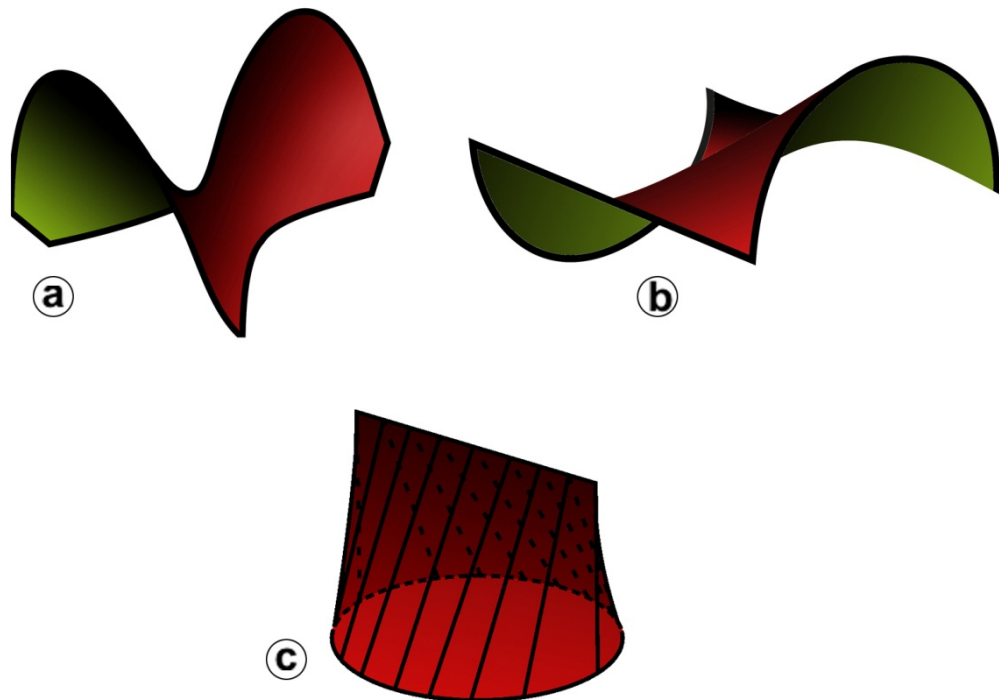


Figura 21: (a) Parabolóide Hiperbólico; (b) Cilindróide; (c) Conóide
 Fonte: a autora

No mercado de produtos industriais existe uma grande quantidade de superfícies não planificáveis que se assemelham às superfícies citadas. As superfícies de revolução são, provavelmente, as mais comuns entre os produtos e também entre as embalagens. As superfícies cônicas e cilíndricas, apesar de serem superfícies de revolução planificadas somente por aproximação, na prática podem ser consideradas desenvolvíveis. Isso porque, normalmente, são utilizadas apenas as suas faces de maior visibilidade, que exigem somente uma ruptura (indicada em vermelho nas Figuras 22 e 23). Mesmo assim, em determinados casos, dependendo do que é especificado em projeto ou até mesmo do processo de fabricação utilizado, a planificação pode ser dificultada.

As figuras 22 e 23 exemplificam a planificação de um cone e de um cilindro respectivamente, sem intercorrência de distorções.

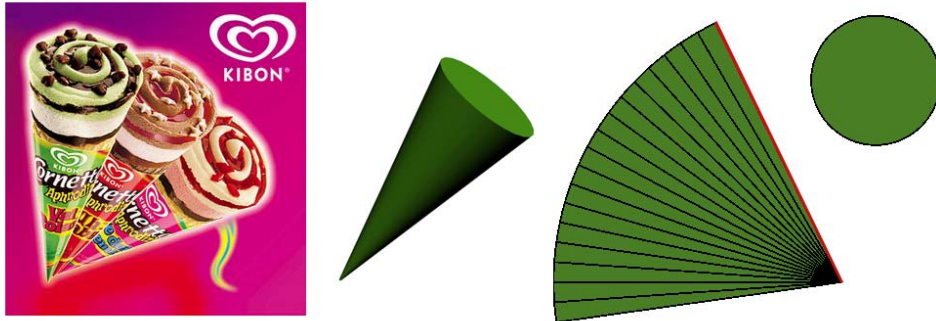


Figura 22: Embalagem com superfície cônica

Fonte: <http://livinonmovin.wordpress.com/2008/09/20/aula-do-dia-0509/>

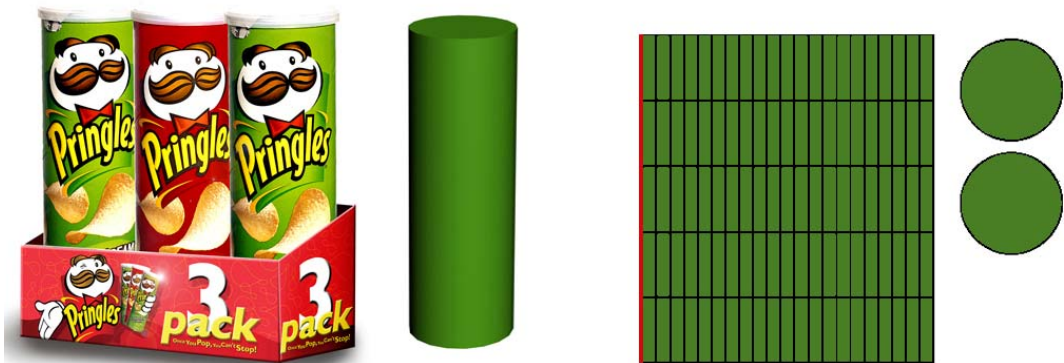


Figura 23: Embalagem com superfície cilíndrica

Fonte: PRINGLES <http://thefishgate.blogspot.com/2008/06/pringle-ashes.html>

Os cilindros de impressão do setor têxtil (Figura 7) e do revestimento cerâmico (Figura 24) também são exemplos de projetos desenvolvimentos no plano.



Figura 24: Cilindro de impressão de revestimento cerâmico

Fonte: http://www.system-group.it/ceramics/c_profilo.aspx

No entanto, a superfície esférica, que também é de revolução, consiste em uma das geometrias mais complexas quanto à planificação. As Figuras 25 e 26 exemplificam dois métodos de planificação de uma esfera. A partir dessas planificações (Figuras 25 e 26) pode-se visualizar alguns aspectos importantes quanto ao design de superfície desse tipo de objeto, válidos também para outras geometrias não desenvolvíveis. Percebe-se, por exemplo, que o designer não tem mais o favorecimento do processo de planificação para visualizar o resultado final de seu projeto no plano, visto que a superfície planificada apresenta muitas rupturas e faces desintegradas, o que torna o projeto complexo em relação aos estudos de encaixes dos elementos visuais entre as arestas.

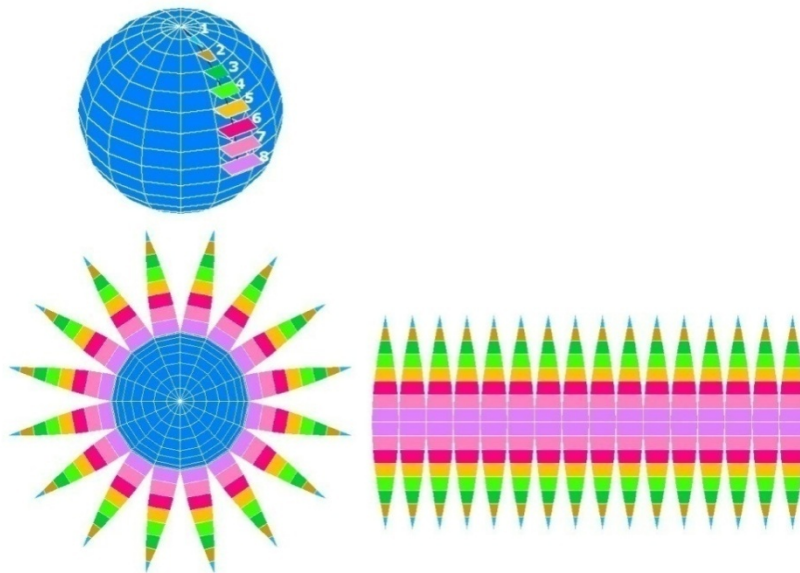


Figura 25: Planificação aproximada da superfície esférica - método dos meridianos
Fonte: Barison (2009).

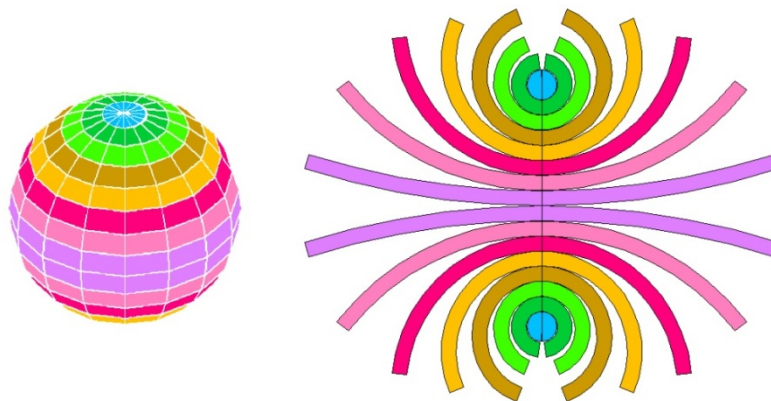


Figura 26: Planificação aproximada da superfície esférica - método dos paralelos
Fonte: Barison (2009).

Mesmo que o designer opte por projetar no plano com base nas planificações mencionadas, o projeto estaria inadequado, primeiro, porque essa planificação seria uma aproximação, podendo gerar resultados insatisfatórios; segundo, porque a imagem resultante da planificação, mesmo que considerasse os encaixes, não estaria apropriada para o processo de impressão – pois a imagem, que deve ser planificada para ser impressa, não pode apresentar rasgos ao envolver o objeto, o que torna o problema ainda mais complexo.

Assim, entende-se que, por um lado, o designer não consegue projetar no plano e simplesmente aplicar a imagem desenvolvida no objeto tridimensional como nas superfícies desenvolvíveis, o que dificulta a visualização do projeto, e, por outro, ele também não pode dispensar a planificação, pois os processos de impressão atuais de produtos industriais com formas complexas constituem-se, basicamente ainda, na impressão da imagem no plano e sua posterior adaptação na forma tridimensional do objeto.

Essas restrições juntas sugerem que o mais apropriado seria a geração de uma imagem plana sem rasgos que considerasse as distorções ainda no plano, de modo a evitá-las (por compensação) quando essa mesma imagem fosse conformada no objeto tridimensional. Assim, se a imagem gráfica bidimensional está adequada no plano e, ao envolver o objeto tridimensional não planificável, fica distorcida, seria lógico distorcer a imagem gráfica bidimensional no plano para que, ao revestir o objeto tridimensional não planificável, as distorções fossem compensadas.

Diante desse entendimento indutivo, o escopo da pesquisa restringe-se na definição de um método que indique as distorções específicas, que devem ser feitas na imagem plana, para que essa compensação possa de fato ocorrer. Para tanto, é necessário estudar e compreender o fenômeno das distorções. É preciso entender por que uma imagem bidimensional distorce seus elementos visuais ao se conformar num objeto tridimensional com geometria não planificável.

Em se tratando de produtos industriais, a principal causa das distorções é a não correspondência de geometria da superfície plana em relação à superfície do objeto tridimensional não desenvolvível. Ressaltando que a geometria consiste em

todas as medidas (distâncias, áreas, ângulos) das superfícies envolvidas – a que reveste e a revestida.

Na Figura 27, tem-se uma imagem plana e uma semi-esfera revestidas com a mesma imagem. Ambas as superfícies, a plana e a da semi-esfera, possuem a mesma área, no entanto as distorções permanecem, demonstrando que o problema, neste caso, não é a não correspondência de área, mas sim a não correspondência de geometria das duas superfícies. Isso não significa que a correspondência de área não seja importante, pelo contrário, seria um agravante das distorções caso não fosse considerada.

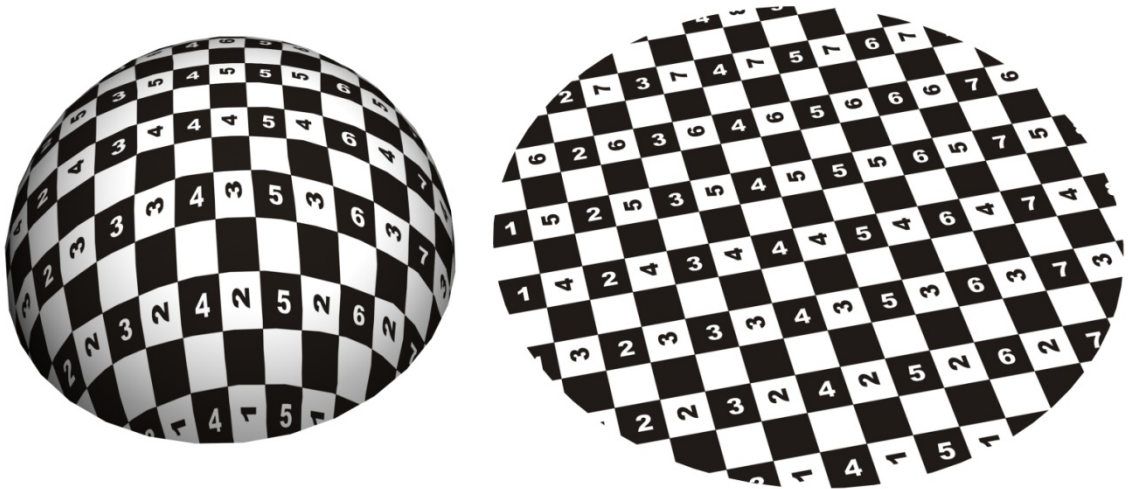


Figura 27: Superfícies com áreas correspondentes

Fonte: a autora

Pode-se entender, então, que para cada volume há uma superfície correspondente com uma imagem específica, e que quanto mais curva e complexa for a superfície desse volume (objeto tridimensional não desenvolvível) mais distorcida ficará a imagem bidimensional aplicada, caso seja gerada sem a consideração das diferenças de geometria das superfícies, uma em relação à outra.

2.5 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE SUPERFÍCIES NÃO PLANIFICÁVEIS

Esta seção tem por objetivo expor exemplos reais de produtos com geometrias não planificáveis e apresentar os processos de fabricação industrial de alguns destes produtos, de modo a deixar ainda mais claro o problema estudado .

Com os avanços alcançados pela tecnologia de impressão, as empresas ampliam sua capacidade de proporcionar superfícies esteticamente atraentes. Segundo Pereira (2005), são aplicados, atualmente, no Brasil, diversos processos de tratamento de superfície em objetos dos mais distintos seguimentos, todos com vantagens e desvantagens.

Na atualidade, objetos com geometrias não planificáveis normalmente têm suas superfícies tratadas através de processos como: tampografia, *hot stamping*, *heat transfer*, *sleeve*, *in mold label*, serigrafia, *off-set*. No entanto neste trabalho são apresentados apenas alguns desses citados, ou seja, somente aqueles que são utilizados no tratamento de superfícies dos três produtos estudados.

No intuito de organizar esta seção de modo que alcance seus objetivos, ela se encontra dividida por tipos diferentes de produtos quanto aos seus materiais. São eles: produtos de cerâmica, produtos de metal e produtos de polímero; sendo considerados apenas produtos com superfícies não desenvolvíveis.

Como já colocado na introdução e seção 1.1, ao longo desta pesquisa, fez-se visitas a fábricas que produzem produtos com o tipo de geometria estudada. Nessas fábricas procurou-se analisar os processos de fabricação dos produtos e os métodos de projeto de superfície adotados. Algumas das informações descritas nesta seção procedem da observação dos processos de fabricação destas indústrias e entrevistas com funcionários das mesmas.

2.5.1 Produtos com superfícies não planificáveis de cerâmica

Atualmente, as empresas de fabricação de produtos cerâmicos com produção em série produzem objetos com geometrias simples e complexas. Muitos dos

produtos com geometrias complexas têm suas superfícies tratadas de forma localizada, isto é, são aplicados adesivos ou impressões em áreas pequenas (não contínuas), de modo a evitar aplicações em curvaturas acentuadas. No entanto isso não é uma regra geral, vários são os exemplos de produtos que têm suas superfícies tratadas de modo a cobrir uma área significativa do objeto, o que evidencia ainda mais as distorções.

As louças da Cerâmica Oxford® na Figura 28 são exemplos de produtos com geometria não desenvolvível. Observa-se que os pratos, por exemplo, possuem curvaturas leves em relação ao plano; deste modo, em regra, não sofrem distorções visuais significativas. Já as tigelas são exemplos representativos de superfícies cerâmicas não planificáveis que possuem problemas de distorção de imagem, pois possuem uma geometria complexa: trata-se de uma semi-esfera, que representa na prática os problemas abordados na seção 2.4, no exemplo da planificação da esfera.



Figura 28: Louças da Cerâmica Oxford®
Fonte: www.oxford.ind.br

A Figura 29 também exemplifica uma superfície não desenvolvível de cerâmica, no que se refere ao prato que serve de suporte das duas xícaras. As xícaras que têm superfícies desenvolvíveis possivelmente não tiveram problemas de distorções. Este exemplo do prato ilustra um aspecto importante do design de superfície, ou seja, que dependendo do projeto, em relação ao tipo de imagem, as distorções podem ser percebidas com maior ou menor intensidade. Neste caso, as irregularidades da imagem baseada nos mosaicos de Gaudí permitem que as distorções, se de fato existem, não sejam percebidas.



Figura 29: Cerâmica inspirada na obra de Antoni Gaudí
Fonte: produto adquirido na *La Pedrera* em Barcelona (designer desconhecido)

Para apresentar um dos processos de impressão, selecionou-se a tigela representada na Figura 30 como instrumento de demonstração.



Figura 30: Tigela de cerâmica - Estudo de caso desta pesquisa
Fonte: Tigela Oxford®

Os produtos de cerâmica, normalmente, são conformados em prensas hidráulicas e submetidos a uma queima na qual adquirem resistência mecânica suficiente para suportar o processo de tratamento de superfície. Suas superfícies, podem ser tratadas, além dos esmaltes de cobertura, com adesivos ou com impressões feitas no objeto a partir de uma imagem bidimensional. Depois de terem

suas superfícies tratadas, os produtos cerâmicos são levados novamente ao forno, onde os materiais são vitrificados.

Geralmente, utilizam-se os adesivos para superfícies planificáveis ou não planificáveis com curvas tênues, ou ainda em áreas localizadas, como já foi colocado. Esse posicionamento técnico de projeto, normalmente, deve-se ao fato de que o adesivo é bidimensional e, ao ser aplicado em uma superfície não desenvolvível complexa, com curvatura acentuada, fica com pregas, pois não consegue se adequar facilmente à superfície do objeto, como ilustra a Figura 31 numa simulação de aplicação de uma imagem plana na superfície curva do objeto.

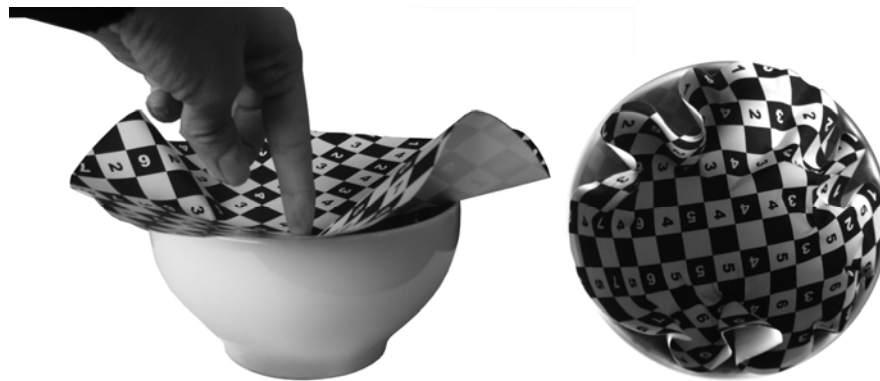


Figura 31: Simulação de aplicação da imagem plana na superfície curva do objeto

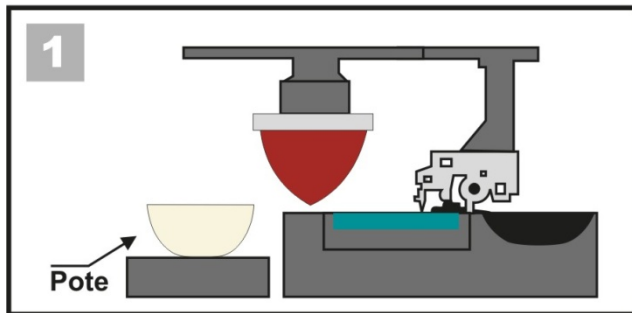
Fonte: a autora

Porém, tanto com os adesivos quanto com as impressões, podem ocorrer distorções visuais ao aplicar-se a imagem bidimensional na superfície do objeto tridimensional. A variável, frequentemente, é a complexidade geométrica da peça.

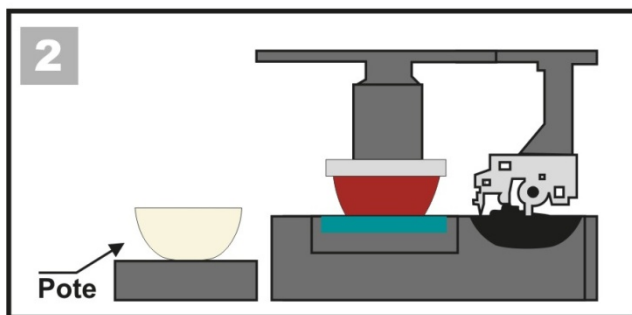
Para os casos com curvas intensas o processo de impressão tampográfica é o mais indicado, principalmente quando se refere a imagens que cobrem uma área expressiva do objeto de modo contínuo.

Segundo Manzini (1993), neste sentido a tampografia é a melhor técnica, pois alia a facilidade de impressão a uma maior liberdade formal da superfície. O processo consiste em imprimir uma imagem num suporte plano e transferi-la em seguida para o suporte final, já conformado.

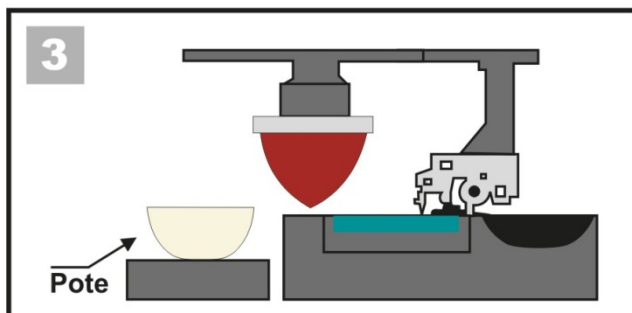
A seguir, tem-se o passo-a-passo desse processo:



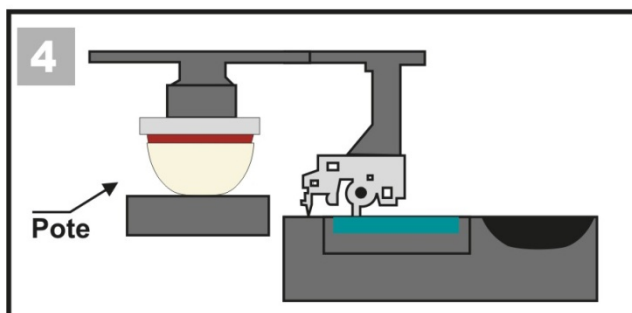
Passo 1 - uma imagem é impressa em um suporte plano, normalmente através de uma tela serigráfica ou de um clichê em baixo relevo, onde essa imagem bidimensional está gravada.



Passo 2 - um bloco flexível (geralmente de silicone, usualmente identificado como tampão, retém a tinta do suporte plano (a imagem impressa).



Passo 3 - o bloco de silicone se desloca através de um cabeçote flexível até ao objeto no qual se pretende fazer a impressão final.



Passo 4 - devido à sua flexibilidade, o bloco de silicone adapta-se à superfície complexa do objeto, imprimindo a imagem sobre a superfície do produto.

Figura 32: Processo de impressão tampográfica

Fonte: Pereira (2005) adaptado pela autora

Para exemplificar o problema das distorções com um produto real, selecionou-se esta imagem (Figura 33) para ser aplicada no interior da tigela, nota-se que existem três círculos perfeitos na composição da arte final.



Figura 33: Imagem bidimensional

Fonte: Imagem da Cerâmica Oxford® cedida para esta pesquisa

Pelo processo de tampografia essa imagem é impressa num suporte plano e transferida em seguida para o suporte final através de um bloco flexível de silicone. Com a impressão final realizada, percebe-se na Figura 34 que dois dos três círculos, já não são mais círculos, mas sim elipses, demonstrando a ocorrência de distorções. Isso ocorre porque a imagem plana, ao ser impressa no objeto, fica com sua geometria alterada.



Figura 34: Tigela com distorções visuais

Fonte: Tigela de cerâmica Oxford®

Considerando as dificuldades de se integrar o plano com o tridimensional, a tampografia pode realmente estar entre os melhores processos, pois através da flexibilidade do bloco de silicone consegue romper com os limites existentes entre uma superfície plana e uma superfície tridimensional com curvatura complexa.

Porém as distorções, causadas pela não correspondência de geometria das superfícies envolvidas, permanecem. Com esse exemplo prático verifica-se que o adequado seria uma imagem plana distorcida que, ao ser aplicada no objeto compensasse as distorções. A Figura 35 (b) demonstra como seria essa distorção ainda no plano (ponto que é desenvolvido na seção 2.6.3).



Figura 35: (a) Imagem original; (b) Imagem 2D distorcida
 Fonte: Imagens da Cerâmica Oxford® manipuladas pela autora

É importante ressaltar que embora, nesta pesquisa, esse processo de impressão seja apresentado junto aos produtos cerâmicos, a tampográfica pode ser realizada em objetos de plástico, metal, vidro, madeira, couro, etc. Normalmente, é utilizada na indústria de utensílios domésticos, de brinquedos, de brindes em geral, de embalagens, de calçados e outros.

Segundo Pereira (2005), o processo de impressão tampográfica ampliou o campo de aplicações ora existentes. A tampografia viabiliza imprimir facilmente qualquer objeto; sua principal vantagem é a versatilidade quanto às superfícies dos objetos. O processo adapta-se a superfícies irregulares em baixo e alto relevo, côncavas e convexas, desenvolvíveis e não desenvolvíveis. Além disso, possui alto nível de legibilidade, alta produção, completa automatização e possibilidade de reprodução com retícula e quadricromia.

2.5.2 Produtos com superfícies não planificáveis de metal

Muitas são as empresas que têm se utilizado do design de superfície como recurso de vantagem competitiva, apostando na diferenciação de produtos. Essa situação é visível também entre empresas que produzem produtos em metal. Exemplos representativos que comprovam essa observação são as frigideiras da empresa Tramontina® (Figura 36), que se destacam por suas cores e possibilidades de tratamento de superfície. Embora sejam superfícies não desenvolvíveis, provavelmente não sofram distorções visuais graves, visto que possuem uma curvatura suave.



Figura 36 - Frigideiras Tramontina® - Linha Vivacor
Fonte: www.Tramontina.com.br

Embora este estudo circunscreva-se à área de atuação do design de superfície, seu objeto de pesquisa estende-se também para outras especialidades do design, que não podem deixar de ser citadas, como, por exemplo, as embalagens. Exemplos expressivos que evidenciam o quanto as embalagens têm evoluído em relação ao tratamento de superfícies e, principalmente, em geometrias diferenciadas e complexas, são as latas expandidas da linha de produtos Nestlé® (Figura 37).



Figura 37: Embalagens expandidas Nestlé®
Fonte: Acervo Curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Embalagem da ESPM de São Paulo

Ainda em fase exploratória desta pesquisa, quando se buscava entender o problema e verificar se o estudo justificava-se, teve-se a oportunidade de entrevistar o professor e designer Fábio Mestriner, autor do projeto de design de embalagem das latas expandidas Leite Moça e Nescau, ambas da Nestlé® . Naquela ocasião, teve-se acesso ao estudo de caso das latas expandidas, pertencente ao acervo do Curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Embalagem da ESPM de São Paulo, e apresentado a essa instituição pela CSN, parceira da Nestlé® nesse projeto. Analisando o documento, pode-se constatar as dificuldades de projeto relacionadas às distorções. Através da Figura 38, nesses protótipos experimentais, percebe-se que realmente, para cada volume, há uma superfície correspondente. Nota-se que foi utilizada uma malha estrutural com círculos como referencial de indicação das distorções ocorridas com a expansão.



Figura 38: Protótipos experimentais da latas expandidas Nestlé®
 Fonte: Acervo Curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Embalagem da ESPM de São Paulo

Na Figura 39, tem-se a visualização de como as latas são expandidas numa máquina de expansão de testes. Percebe-se que as latas já estão impressas antes de serem expandidas.

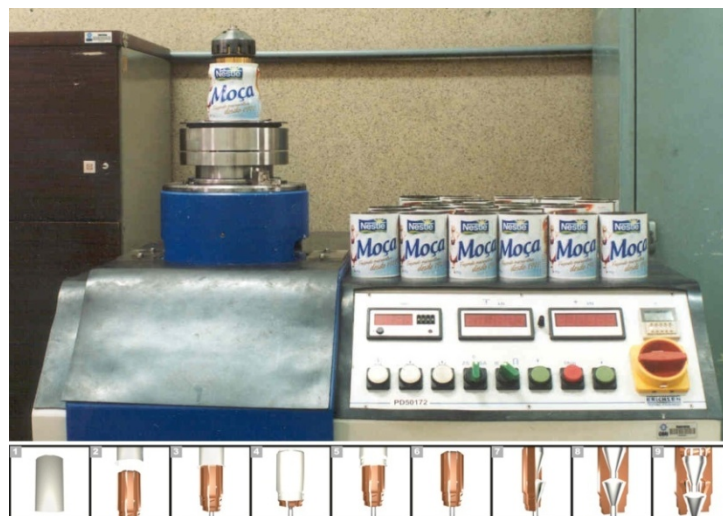


Figura 39: Máquina de expansão de protótipos
 Fonte: Acervo Curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Embalagem da ESPM de São Paulo

As latas expandidas Nestlé® demonstram que existe uma importante diferença entre os cerâmicos e os metais não planificáveis. Nos cerâmicos, o objeto é conformado, e posteriormente faz-se a impressão. Já nos metais, a arte é impressa numa chapa de metal plana; quando esta é conformada, a imagem aplicada desloca-se junto com o substrato, nesse caso a chapa. Isso não significa que produtos de metal não possam ter suas superfícies tratadas através de outro processo de impressão, em que o objeto já está constituído, como, por exemplo, o processo tampográfico utilizado na tigela de cerâmica.

Para apresentar um dos principais processos industriais de produtos de metal selecionou-se a chaleira representada na Figura 40, que possui uma curvatura acentuada em relação ao plano. Essa não correspondência de geometria entre a plana e a tridimensional pode ser observada na Figura 41, onde se simula a imagem plana revestindo o objeto.



Figura 40: Produto selecionado para estudo de caso desta pesquisa
Fonte: Chaleira Tramontina®



Figura 41: Simulação de aplicação da imagem plana na superfície curva do objeto
Fonte: a autora

Analisando-se a simulação da imagem plana envolvendo a chaleira na Figura 41, pensa-se ser impossível a adequação de qualquer desenho plano nesse objeto, mas, quando se entende o processo de impressão e conformação do produto, passa-se a visualizar com mais clareza tanto as possibilidades quanto os problemas envolvidos num projeto de superfície como esse.

Por isso, nos próximos parágrafos são apresentadas as etapas mais significativas dos processos envolvidos na constituição dessa chaleira. As etapas são abordadas de maneira superficial, mas o suficiente para esclarecer o estudo em questão: as distorções.

O primeiro passo consiste na impressão de um disco metálico, comumente chamado de *blank*. A imagem é aplicada no disco através do processo de impressão serigráfica (*silk screen*), como está ilustrado na Figura 42, onde a tela serigráfica com a imagem gravada está sobre o disco de metal já impresso.

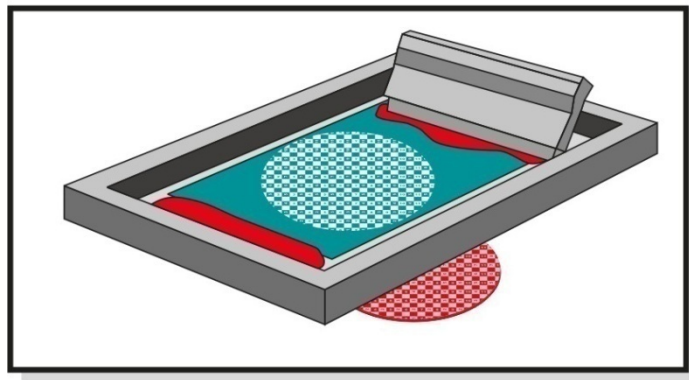


Figura 42: Impressão serigráfica sobre o blank

Fonte : a autora

Posteriormente, segundo Batalha (2003), o “[...] blank é colocado sobre uma matriz e é comprimido para o seu interior através de um punção, geralmente de forma cilíndrica. À medida que o punção avança sobre o blank, o metal em contato com o punção acomoda-se em torno do seu perfil.”

A sequência do processo pode ser visualizada na Figura 43, onde por pressão o punção empurra o blank para dentro da matriz. Conforme Batalha (2003), na região de formação do copo no interior da matriz, empregam-se normalmente folgas e lubrificações para evitarem-se efeitos de atrito. A esse processo de conformação geralmente se dá o nome de estampagem profunda.

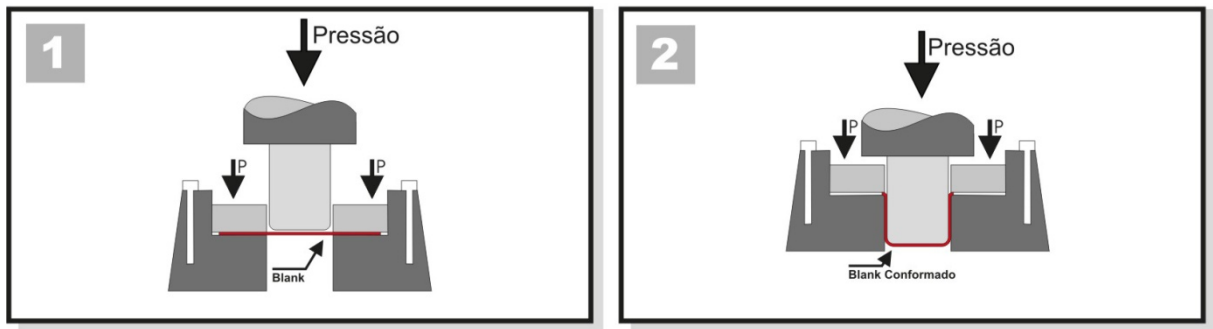


Figura 43: Processo de estampagem profunda da chaleira (conformação)

Fonte: Batalha (2003) adaptado pela autora

Na Figura 44, têm-se exemplos reais dos resultados físicos de cada etapa do processo acima descrito. Na esquerda, tem-se o disco metálico já serigrafado; no meio tem-se o copo conformado e a imagem já distorcida, porém com a tinta em perfeito estado; e na direita tem-se o mesmo copo do meio, entretanto com uma segunda conformação.



Figura 44 : Resultados físicos das etapas do processo de conformação da chaleira

Fonte: Protótipo de referência produzida para esta pesquisa

Através deste exemplo é possível visualizar que o problema nos metais também sugere como solução uma imagem bidimensional que contemple no plano as compensações exatas das distorções ocorrentes na superfície tridimensional. Esse exemplo deixa ainda mais claro o problema desta pesquisa: como desenvolver um método que consiga evitar ou minimizar essas distorções evidentes na chaleira? Ou ainda, como definir essa imagem bidimensional com distorções compensatórias específicas?

2.5.3 Produtos com superfícies não planificáveis de polímero

Entre os polímeros as opções de objetos com superfícies não planificáveis são ainda maiores. A todo momento surge um grande número de embalagens com formatos tridimensionais diferenciados e com superfícies não desenvolvíveis. Grandes marcas como Royal® e Hellmann's® (Figura 45) são exemplos de inovação no ponto-de-venda através de modificações de formato tridimensional de suas embalagens.



Figura 45 : Embalagens de polímero com geometria não desenvolvível

Fonte: Hellamann's - <http://www.hellmanns.com.br/home/>

Fonte: Royal - http://www.naritadesign.com.br/html/portifolio_det.php?23_2

Vários são os processos de tratamento de superfícies não desenvolvíveis de polímeros, entre eles, *sleeve*, *in mold label*, *shrink*, etc. No entanto esses processos, usualmente utilizados em embalagens, não são considerados neste estudo, porém espera-se que os princípios abordados nesta pesquisa possam ser utilizados em projetos de embalagem com diferentes tipos de processos de tratamento de superfícies.

A indústria calçadista é outro exemplo de segmento que fabrica produtos com superfícies não desenvolvíveis em polímeros. Na Figura 46, percebe-se que a imagem está distorcida na lateral tanto no rosto da Hello Kitty® quanto nos quadrados da imagem, configurando a presença do problema estudado.



Figura 46 - Sandália de polímero
Fonte: Grendene®

Para apresentar um dos processos de impressão utilizado em polímeros selecionou-se a sandália apresentada na Figura 47. Analisada isoladamente, isto é, sem considerar as restrições de processo de tratamento da superfície, pode ser considerada uma superfície praticamente planificável como apresenta a figura 48. No entanto seu processo de tratamento de superfície limita essa opção, pois separar as faces laterais da face de topo torna a imagem inadequada. Isso demonstra que um produto até pode ser aparentemente simples de planificar, com poucos recortes, mas dependendo do seu processo de impressão ele também pode ter sérios problemas de distorção visual, como é o caso desta sandália, que devido a sua complexidade formal (forma assimétrica) torna o problema ainda mais grave e difícil de ser solucionado.



Figura 47: Sandália de Polímero – estudo de caso desta pesquisa
Fonte: Sandália Grendene®

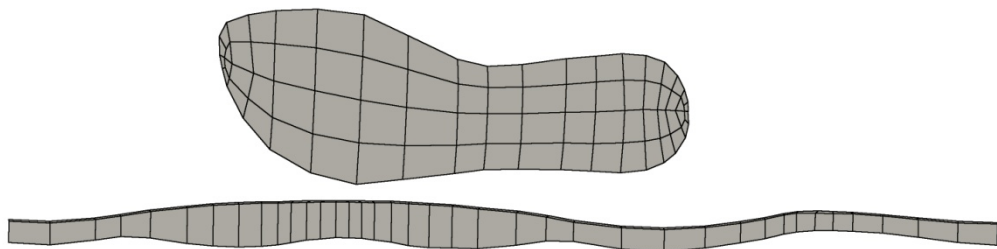


Figura 48: Planificação da sandália
Fonte: a autora

Para que se possa visualizar a não correspondência de geometria entre as superfícies construiu-se a simulação de uma imagem envolvendo a sandália apresentada na Figura 49. Percebe-se que as pregas se sobrepõem principalmente nas partes da frente e de trás da sandália, indicando as posições mais críticas em relação às distorções.

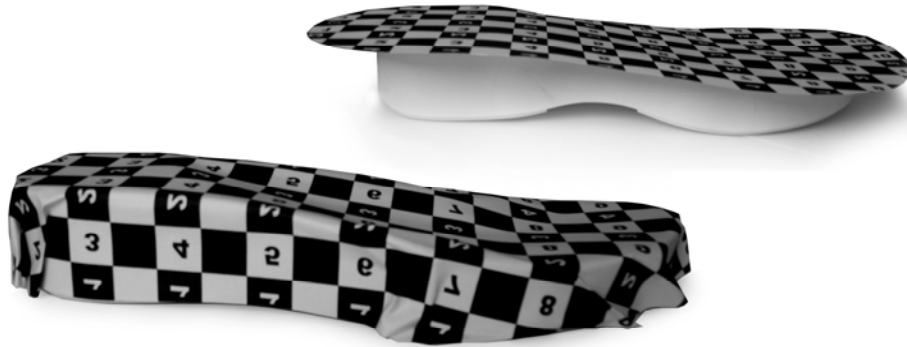


Figura 49: Simulação de aplicação da imagem plana na superfície curva do objeto

Fonte: a autora

A Figura 49 também simula o que ocorre no processo de impressão da sandália, que é revestida por uma película plana a partir de seu topo. Isso justifica por que o processo de planificação das faces laterais separadas da face de topo não resolve o problema deste caso, pois a sandália é revestida com uma única imagem que cobre todas as faces de uma só vez.

Na Figura 50 está apresentado o passo a passo do processo de tratamento da superfície da sandália.

Esta técnica pode ser comparada ao que Manzini (2003, p.198) define como “[...] estampagem a quente (*hot stamping*), baseia-se no princípio do decalque [...]”: De acordo com Manzini (2003), trata-se uma película de suporte flexível – sobre a qual foi reproduzida a imagem a imprimir. Esta película plana com a imagem reproduzida, que pode ser visualizada na Figura 50 (passo 2), é colocada sobre a superfície do objeto (sandália) e premindo sobre a imagem um bloco flexível quente com a forma apropriada, provoca-se o tratamento da superfície da sandália, que pode ser observado na Figura 50 (passos 3 e 4).

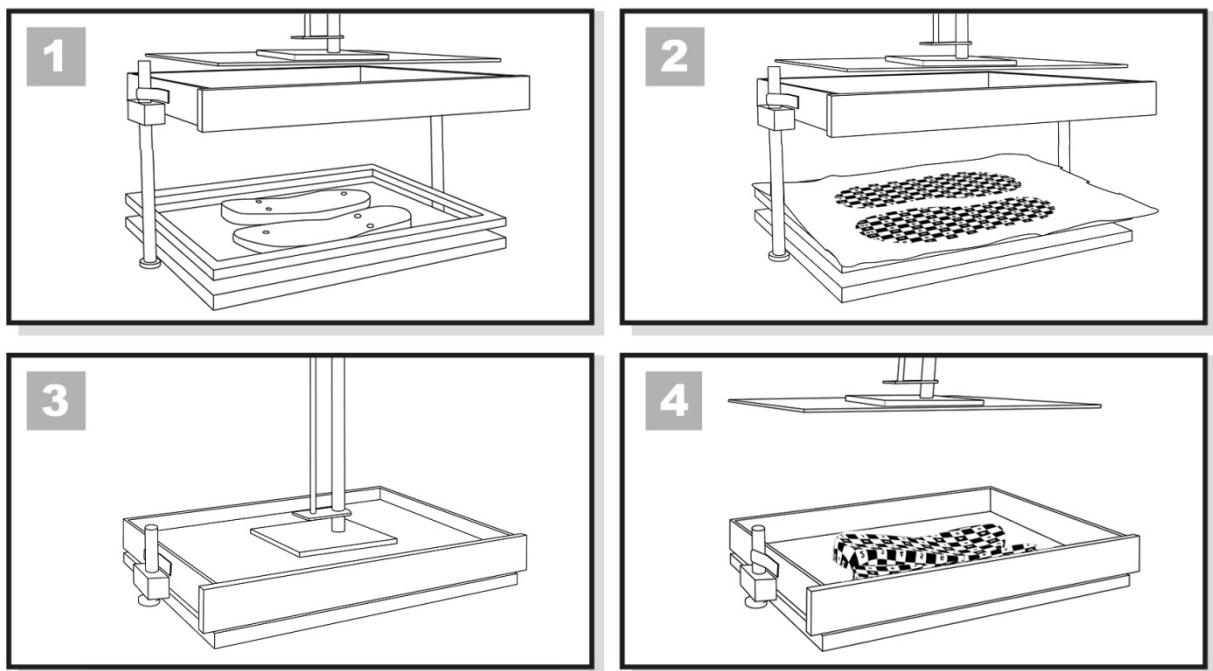


Figura 50: Processo de tratamento de superfície da sandália

Fonte: a autora

Na Figura 51, tem-se um exemplo executado em unidade fabril que apresenta o resultado real do processo acima descrito, apontando os pontos com maiores distorções visuais.



Figura 51: Protótipo de referência

Fonte: Produzido para esta pesquisa

2.6 RECURSOS COMPUTACIONAIS

Nesta seção, são apresentados diversos recursos da computação gráfica importantes no contexto do presente trabalho. Esses recursos contribuem como ferramentas para controlar as distorções causadas pela não correspondência de geometria entre a superfície plana que reveste e a superfície tridimensional revestida. Assim, recursos computacionais como “superfícies paramétricas”, “processo de texturização⁴ computacional” e “*render to texture*” são apresentados nesta seção.

A indústria de desenhos animados e games tridimensionais costumam utilizar com frequência estes recursos computacionais para melhorar o realismo de suas imagens, buscando maneiras de finalizar adequadamente a aparência das superfícies de seus produtos. Nesta pesquisa, estuda-se a possibilidade de direcionar essas ferramentas computacionais projetadas pela computação gráfica e comumente utilizadas no desenvolvimento de produtos virtuais como os citados acima, para a indústria de produtos físicos manufaturados produzidos em série.

No que se refere ao tratamento de superfícies, os produtos virtuais possuem algumas facilidades, tais como os recursos de “camuflagem” de imperfeições, como, por exemplo, quando se posiciona o defeito em um lugar onde o observador não consegue perceber. Já os objetos físicos podem ser analisados com acuidade, tocados e examinados em todos os ângulos. No ponto-de-venda, normalmente, dividem a atenção do consumidor com produtos concorrentes, e não como em geral ocorre com a computação gráfica, com um cenário rico e com outros elementos aos quais os objetos se integram. Todos esses aspectos contribuem para que o projeto de superfície desses produtos físicos seja ainda mais criterioso em relação aos detalhes de distorções indesejáveis.

⁴ Em Computação Gráfica, texturas são propriedades de superfície de ponto a ponto para dar à aparência de superfície algum detalhe que não está de fato presente na geometria da superfície. Neste trabalho, é utilizado o termo textura conforme a Computação Gráfica apenas nesta seção, por ser o termo corrente dessa área do conhecimento, no entanto, nas demais seções, é utilizada a palavra “imagem”.

Na sequência desta seção tem-se a apresentação dos recursos computacionais que se pretende adaptar ao tratamento de superfícies não desenvolvíveis de produtos manufaturados.

O software de modelagem tridimensional utilizado nesta pesquisa é o 3D Max 2009 da Autodesk. Softwares como o Blender, Maya possivelmente disponibilizam os recursos aqui apresentados.

Embora esta pesquisa delimite-se entre as superfícies não planificáveis, optou-se, para a demonstração dos principais recursos considerados importantes para a pesquisa, por um modelo com superfície desenvolvível – um cilindro. Fez-se esta opção para facilitar a compreensão das ferramentas que são empregadas em superfícies não desenvolvíveis no capítulo 4 deste trabalho.

2.6.1 Superfícies Paramétricas

As superfícies paramétricas contribuem nesta pesquisa como uma ferramenta computacional que promove uma integração entre os espaços bi e tridimensional, de modo a oferecer um maior controle sobre as distorções visuais.

A representação paramétrica de superfícies foi desenvolvida para viabilizar a manipulação de objetos tridimensionais complexos no meio computacional, em especial para a indústria automotiva (Bézier, 1966 apud Teixeira, 2003).

Conforme Teixeira (2003), neste tipo de representação, a superfície é definida por equações que relacionam um domínio paramétrico, plano e com dimensões normalizadas, e o espaço tridimensional euclidiano. Para cada uma das dimensões (x, y e z) do espaço tridimensional, existe uma equação que faz a relação com o espaço paramétrico bidimensional de coordenadas u e v. Assim, cada ponto do domínio tridimensional tem um correspondente no domínio paramétrico na forma: $S(u,v)=[x(u,v) \ y(u,v) \ z(u,v)]$, como mostrado na Figura 52.

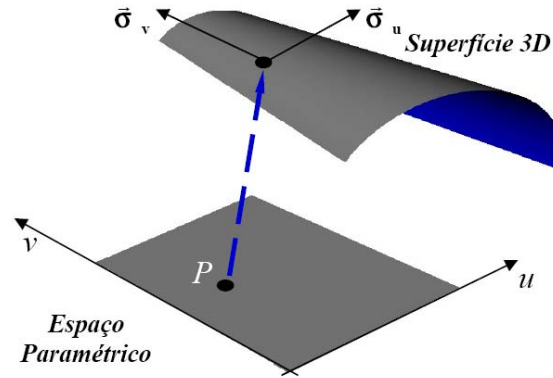


Figura 52: Mapeamento de uma superfície tridimensional para um espaço paramétrico

Fonte: Miranda *et al*

O espaço paramétrico é normalizado, correspondendo geralmente a um quadrado com dimensões unitárias variando entre 0 e 1 (TEIXEIRA, 2003).

Na Figura 53, observa-se essa correspondência de pontos. Do lado esquerdo, tem-se a representação do espaço euclidiano do objeto, onde o ponto vermelho representa uma posição (x , y e z) da superfície do cilindro tridimensional, enquanto que do lado direito tem-se a representação do espaço paramétrico onde o ponto vermelho indica a posição (u , v) da superfície planificada do cilindro. Na representação do espaço paramétrico também está apresentado o quadrado com intervalo de 0 a 1 em u e v .

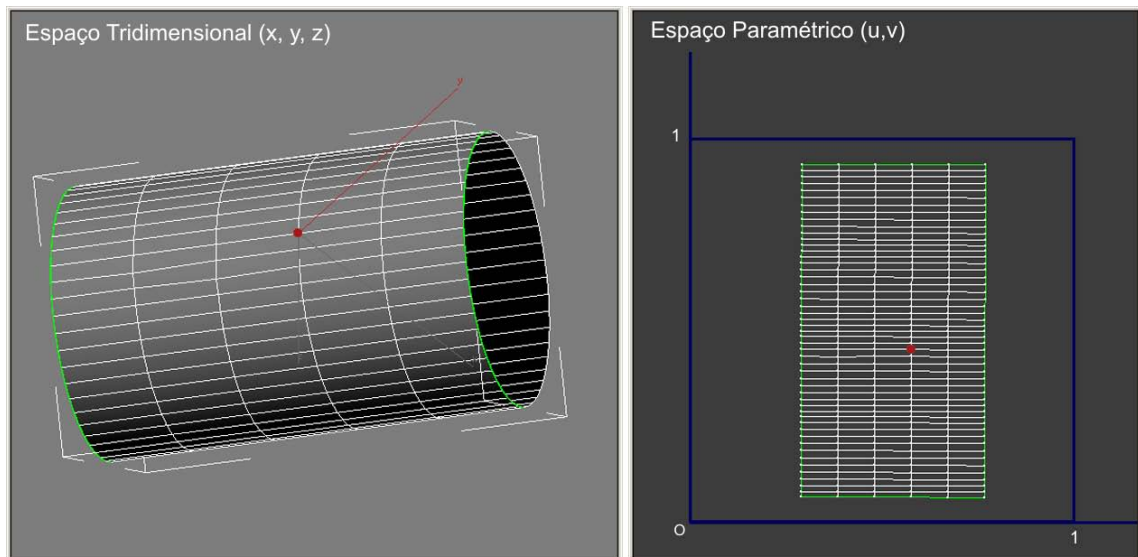


Figura 53: Correspondência entre o espaço tridimensional e o espaço paramétrico

Fonte: a autora

2.6.2 Processo de Texturização Computacional

Catmull (1974 apud Ebert et al 2003) gerou as primeiras imagens em computação gráfica texturizadas, a partir de superfícies paramétricas, representadas como recortes (patches) paramétricos. Com as pesquisas de Catmull, a correspondência do espaço bidimensional para o tridimensional passou a indicar, também, que uma imagem bidimensional pode ser facilmente mapeada em uma superfície tridimensional. Os parâmetros (u, v) de qualquer ponto no recorte podem ser usados para calcular uma localização de pixel correspondente na imagem.

Na Figura 54, observam-se dois recortes (ou polígonos vermelhos) selecionados no espaço tridimensional e suas correspondências no espaço paramétrico.

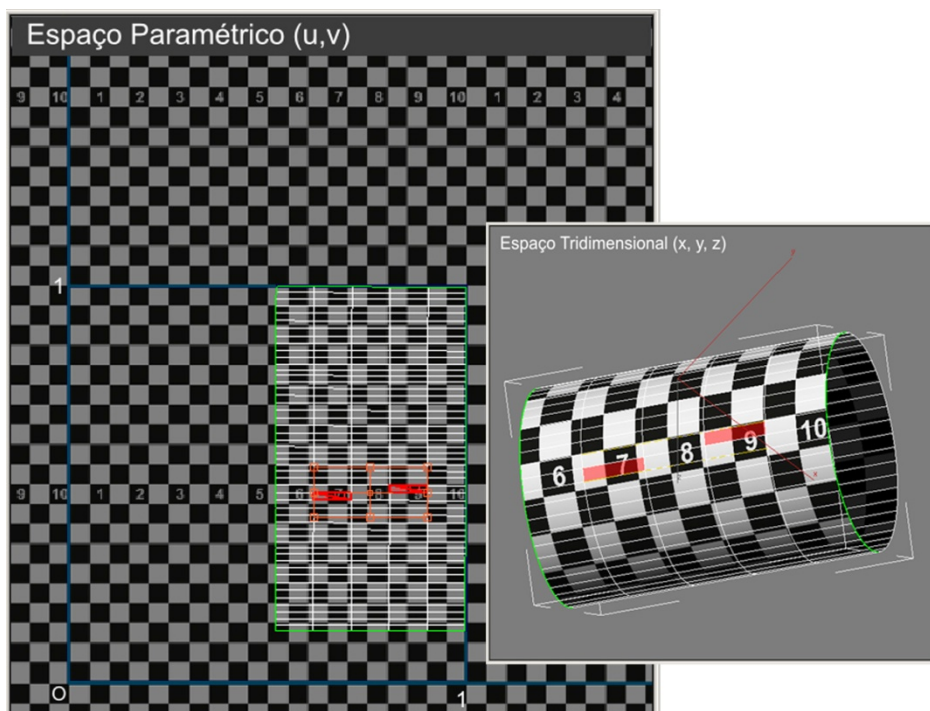


Figura 54: Correspondência entre o espaço tridimensional e o espaço paramétrico
Fonte: a autora

Percebe-se que uma imagem bidimensional (Figura 55) foi aplicada ao objeto; essa imagem é quadrada e preenche a área (1×1) do espaço paramétrico. Pelos números que fazem parte da imagem, pode-se observar como ela está mapeada no objeto tridimensional e onde sua planificação está localizada no espaço paramétrico.

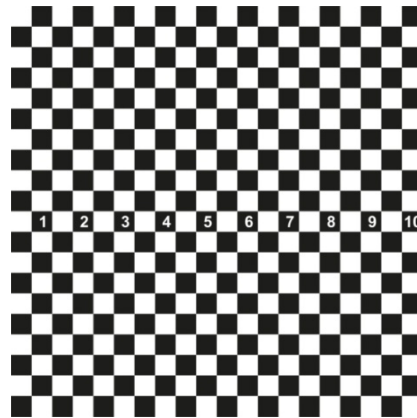


Figura 55: Imagem bidimensional em formato quadrado

Fonte: a autora

De acordo com Möller, Haines e Hoffman (2008), o primeiro passo no processo de texturização de um objeto tridimensional, em computação gráfica, consiste na obtenção da localização da superfície no espaço tridimensional e sua projeção no espaço paramétrico bidimensional (u, v) através da utilização de funções de projeção. Na Figura 56 tem-se uma projeção planar, representada pelo polígono amarelo sobre o cilindro no espaço euclidiano.

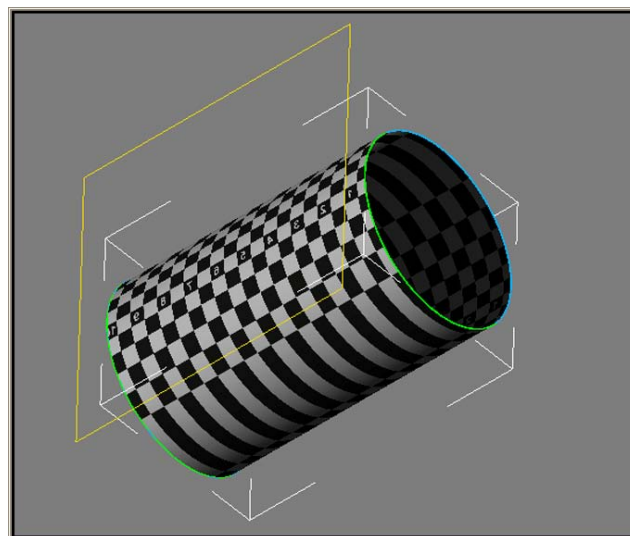


Figura 56: Projeção Planar

Fonte: a autora

Uma função de projeção (*projector function*), conforme Möller, Haines e Hoffman (2008), é aplicada ao objeto tridimensional para obter um conjunto de números, chamados valores do espaço paramétrico ou mapa de textura, que serão usados para acessar a textura. Esse processo é denominado mapeamento, o que gera a expressão mapeamento de textura.

As superfícies paramétricas têm um conjunto natural de valores (u,v) como parte de sua definição. Dessa forma, quando se constrói um objeto com superfície paramétrica, já se está definindo também os valores do espaço paramétrico correspondente. No entanto, durante o processo de texturização, normalmente é necessário localizar a superfície tridimensional e projetá-la no espaço paramétrico, construindo um novo mapa de textura, diferente daquele fornecido naturalmente pela superfície paramétrica do objeto tridimensional, principalmente quando o objeto possui uma superfície não desenvolvível, o que em geral exige do designer execuções estratégicas no uso de funções de projeção. A Figura 57 apresenta no espaço paramétrico o mapa de textura original do cilindro do lado esquerdo.

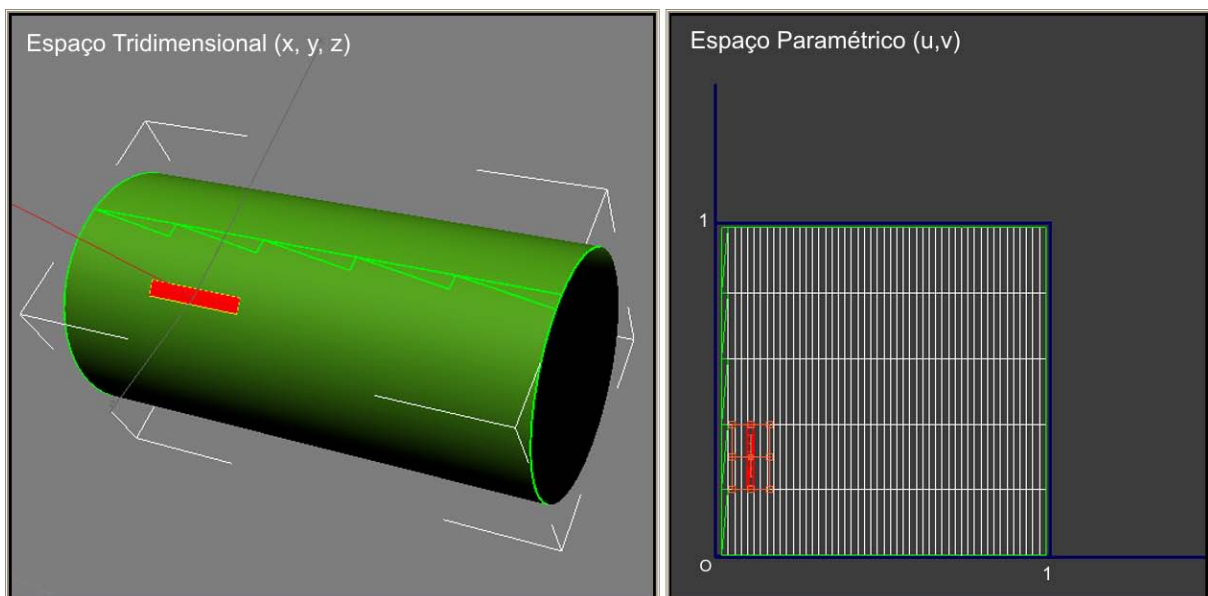


Figura 57: Mapa de textura original da superfície paramétrica do cilindro

Fonte: a autora

De acordo com Möller, Haines e Hoffman (2008), softwares de modelagem geralmente permitem que designers definam coordenadas (u, v) por vértice. Essas coordenadas podem ser reconstruídas a partir de funções de projeção (como já foi mencionado) ou a partir de algoritmos de “desembrulho de malha” (*mesh unwrapping algorithms*). Designers podem editar coordenadas (u, v) da mesma maneira como eles editam posições de vértices na malha geométrica do modelo.

É importante ressaltar que o mapa de textura no espaço paramétrico é representado por uma malha bidimensional com o mesmo número de vértices ou polígonos da malha geométrica do modelo no espaço tridimensional. Quando os vértices (u, v) são acionados com o objetivo de editar a posição da imagem sobre a

superfície do objeto tridimensional, de acordo com o que se espera do projeto, essa função não altera a geometria do objeto, apenas reposiciona a imagem na superfície do mesmo. Isso demonstra que a correspondência entre os dois espaços dá-se sobre a superfície do objeto, não alterando sua geometria⁵.

Conforme Pagán (2001 apud Möller, Haines e Hoffman, 2008), uma única função de projeção pode ser suficiente para todo o modelo, mas o designer geralmente tem que usar ferramentas para subdividir o modelo e aplicar várias funções de projeção em separado.

As funções de projeção comumente usadas em programas computacionais de modelagem tridimensional incluem projeções esféricas, cilíndricas e planares. Na Figura 58, apresenta-se uma projeção esférica (representada por três elipses em amarelo) que lança pontos sobre uma esfera imaginária centrada em torno do objeto.

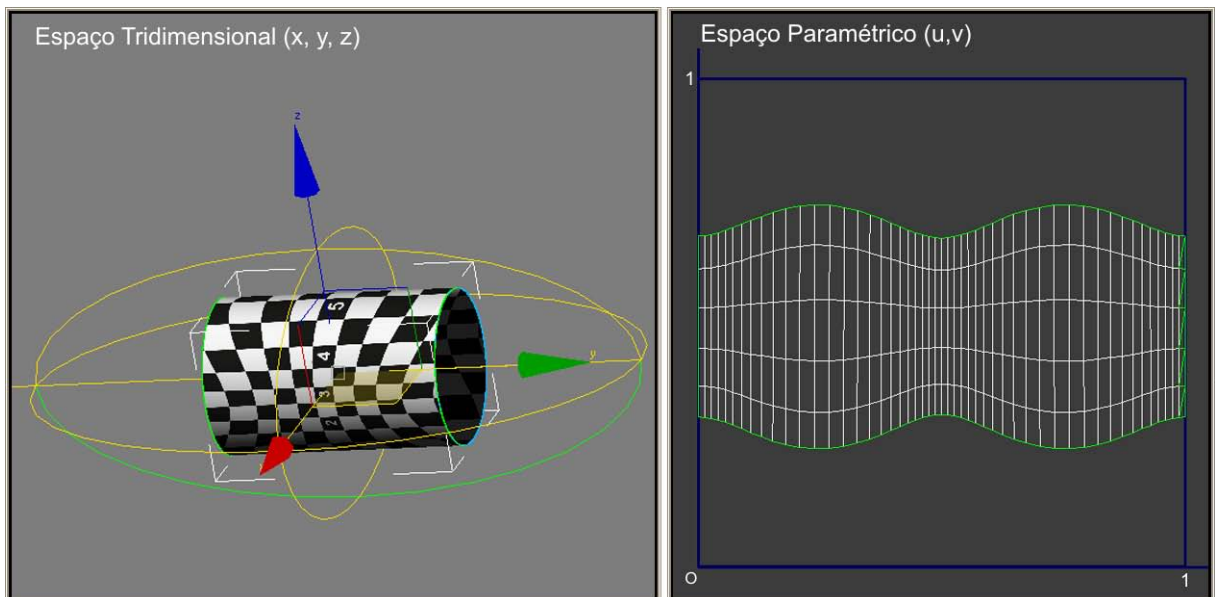


Figura 58: Projeção esférica

Fonte: a autora

Nota-se, por exemplo, que a projeção esférica não é a mais apropriada para o cilindro, pois gerou um mapa de textura com uma curva que altera completamente a

⁵ Mapeamentos de texturas também podem alterar a geometria do objeto, como, por exemplo, os mapeamentos de rugosidade (*bump-mapping*) introduzidos por Cook (1984 apud Möller, Haines e Hoffman, 2008), no entanto esta pesquisa se delimita a mapeamentos que não modificam a forma do modelo. O mapeamento de rugosidade de Cook não se refere ao bump-mapping que apenas simula a rugosidade e não altera a geometria do objeto.

imagem sobre a superfície do cilindro, que é uma superfície facilmente planificável. A opção pela projeção esférica fez com que a imagem se distribuisse de forma distorcida sobre a superfície tridimensional do objeto. Esse fato não reduz a utilidade que uma projeção esférica possa ter ao gerar mapas de textura para cilindros como esse do exemplo, ou seja, tudo depende do que se espera do projeto.

Em alguns projetos de superfícies as distorções visuais da imagem sobre o objeto tridimensional podem ser parte integrante (e desejada) do projeto. Isso, reforça a contribuição desta pesquisa, pois o objetivo é obter o controle das distorções, para mais ou para menos, dependendo do projeto.

A projeção cilíndrica (Figura 59) está representada pelo cilindro amarelo com a mesma geometria do objeto. Essa projeção é útil para objetos que tenham um eixo de revolução (Möller, Haines e Hoffman, 2008).

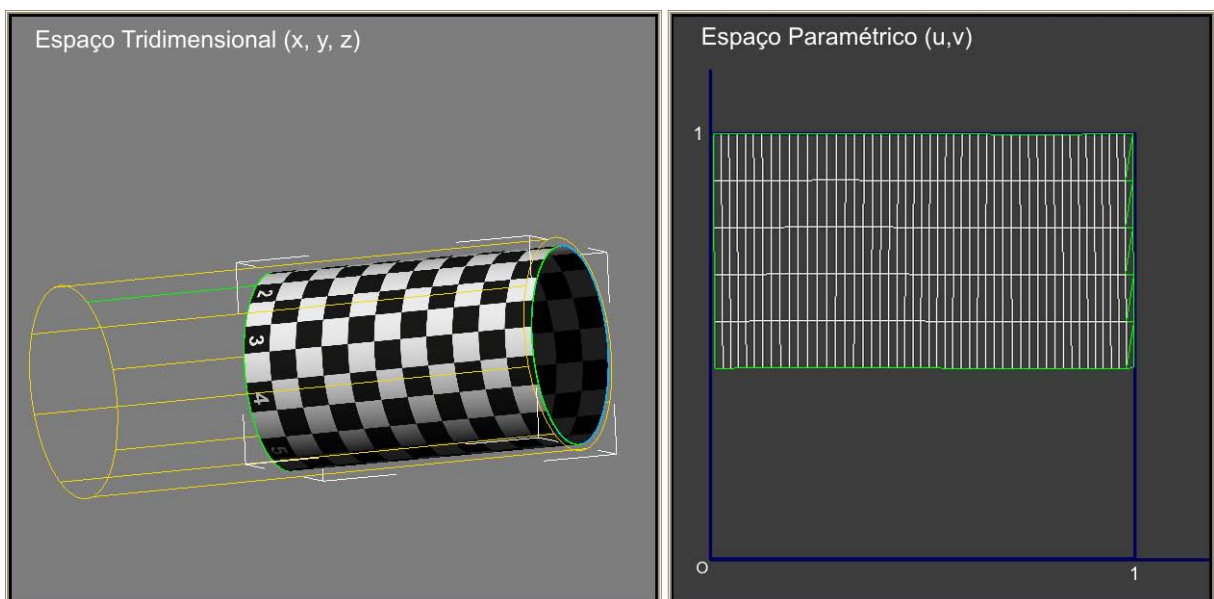


Figura 59: Representação de projeção cilíndrica

Fonte: a autora

Para evitar distorções, a função de projeção cilíndrica é a mais indicada para o presente caso. Com ela, possivelmente o mapa de textura não necessite de alterações no processo de aplicação da imagem na superfície do objeto.

Já a projeção planar opera como um projetor de slides, pois a imagem é projetada ao longo de uma direção (Figuras 60 e 61 - polígonos em amarelo). É um tipo de projeção ortogonal. A posição e escala das projeções no espaço em relação

ao objeto podem ser alteradas, como se observa nas Figuras 60 e 61. Ambas são planares, no entanto, devido aos formatos distintos e pelas suas posições em relação ao objeto, podem gerar mapas de texturas diferentes.

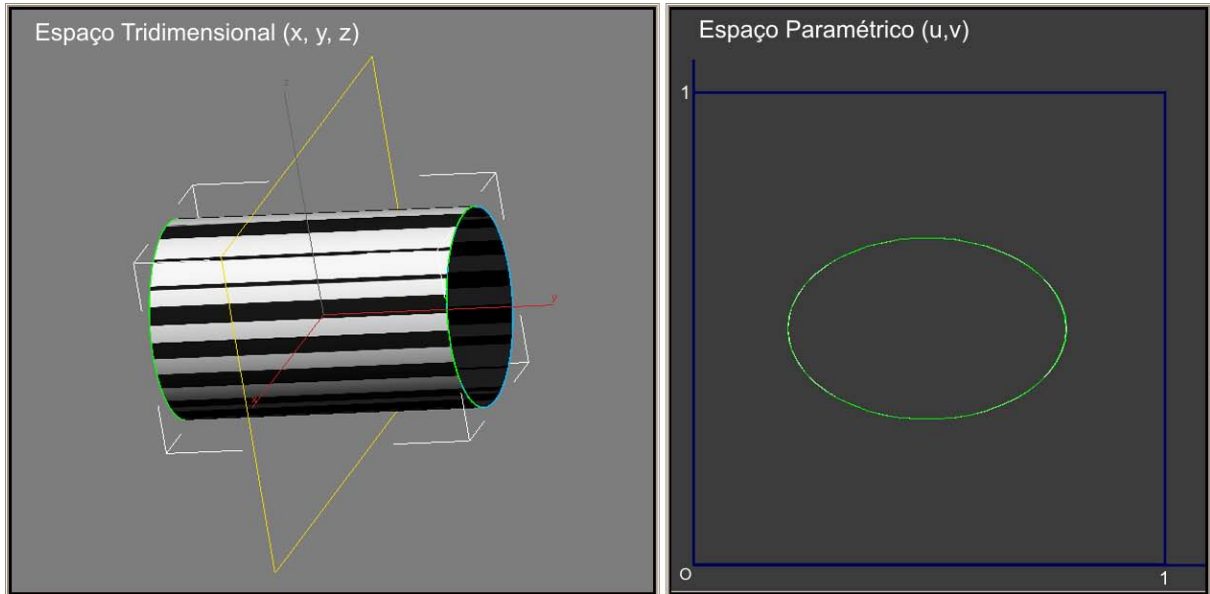


Figura 60 - Representação de projeção planar

Fonte: a autora

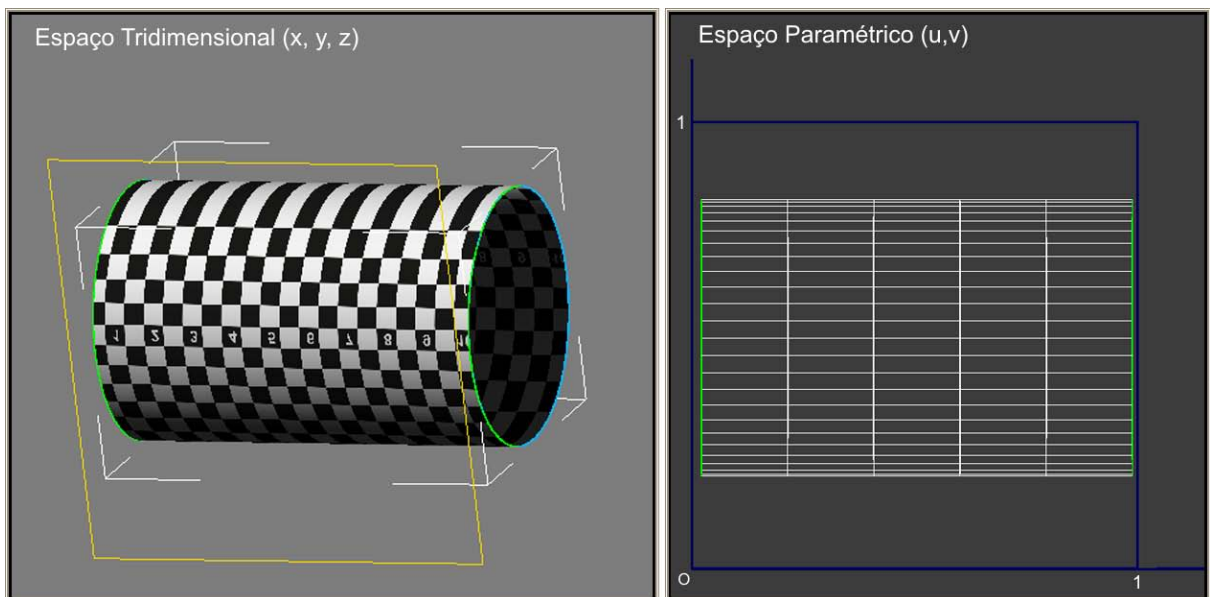


Figura 61 - Representação de projeção planar

Fonte: autora

Segundo Möller, Haines e Hoffman (2008), a função de projeção planar é comumente usada para gerar mapas de textura de personagens (de games ou de desenho animado), tratando o modelo como um boneco de papel no qual se aplicam (por colagem) texturas separadas em sua frente e costas. Como há distorções severas para superfícies que estão localizadas transversalmente ou de perfil para a

projeção, o designer, com frequência, deve decompor manualmente o modelo em partes planares.

Como já foi mencionado, de acordo com Möller, Haines e Hoffman (2008), mapas de texturas podem ser gerados a partir de algoritmos que promovem o “desembrulho de malha” (*mesh unwrapping*) ou a decomposição do modelo em diversas partes a partir da utilização de um conjunto apropriado de projeções planares.

Na Figura 62 (b) encontra-se um mapa de textura gerado a partir de conjunto de projeções planares. Essa ação decompõe a superfície do cilindro em 16 partes planares. Essas 16 partes apresentadas na Figura 62 (b), devem, posteriormente, ser conectadas (costuradas) entre si, dentro das possibilidades de cada projeto, para que se mantenha a continuidade do mapa de textura. A descontinuidade do mapa gera uma aplicação da imagem na superfície do objeto tridimensional fragmentada, como a apresentação na Figura 62 (a).

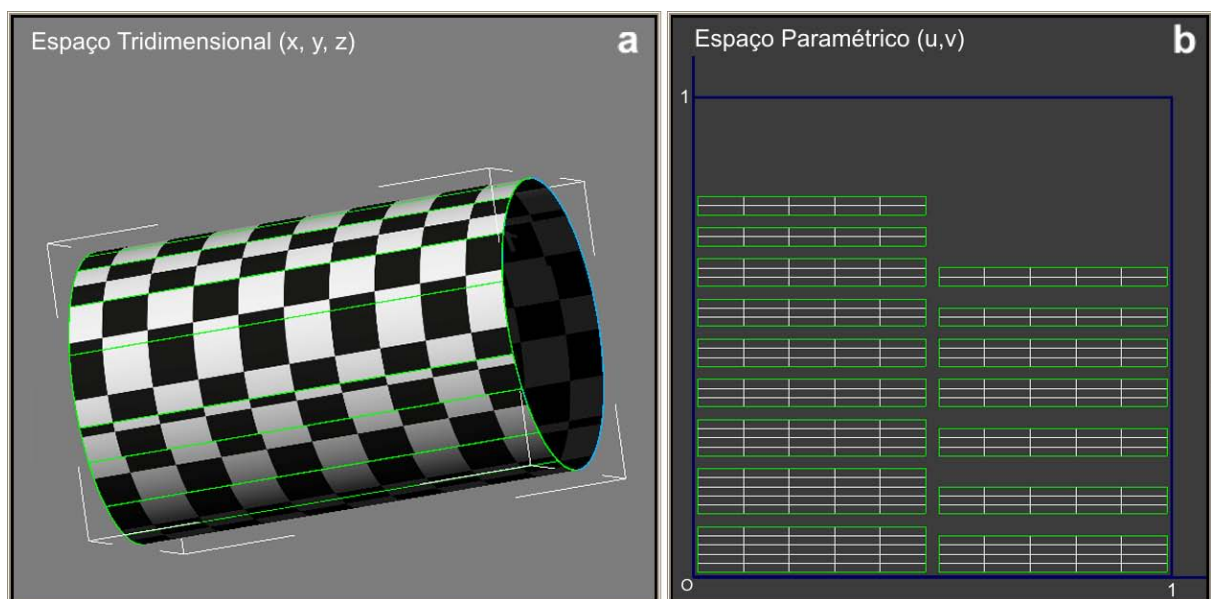


Figura 62: Decomposição da superfície do cilindro em 16 partes planares

Fonte: a autora

Na Figura 63, percebe-se que o objeto possui em sua superfície algumas linhas verdes. Essas linhas representam as desconectividades do mapa de textura, também indicadas no espaço paramétrico. Na parte inferior da Figura 63, têm-se duas arestas (uma vermelha e outra azul) indicando a próxima costura. O traço vermelho indica a aresta de fechamento e a posição onde ocorrerá a costura (conexão) com a aresta azul. A conectividade é importante porque podem aparecer ruídos de amostragem ao longo da imagem aplicada, e cada vértice partido também pode provocar a duplicação de dados.

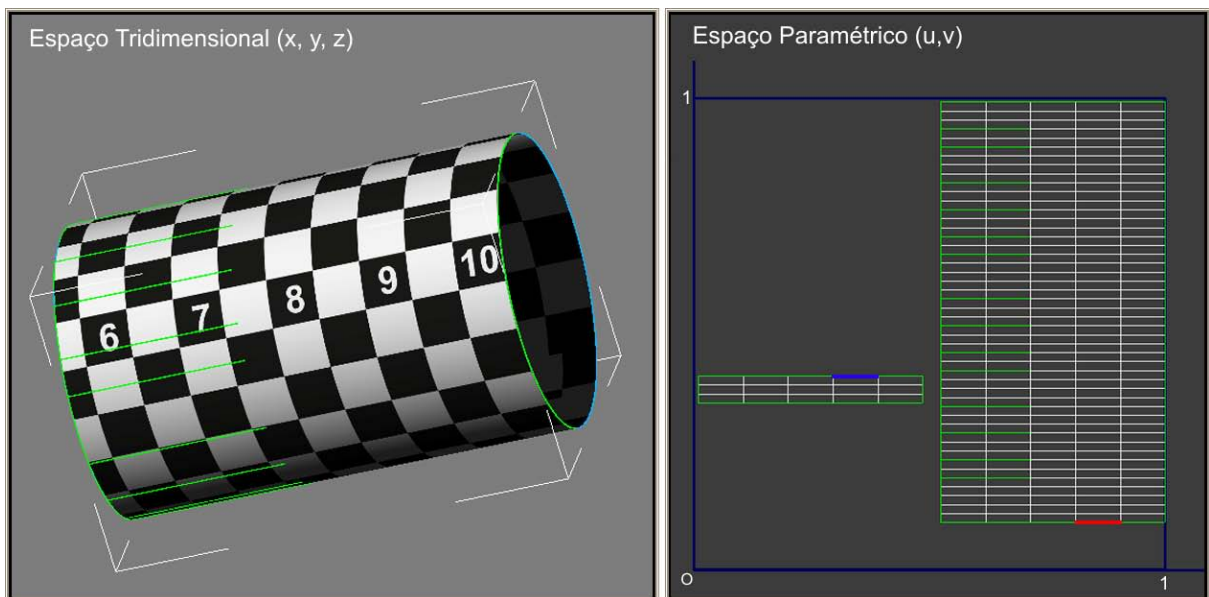


Figura 63: Desconectividades na malha (u, v) representadas pelas linhas verdes

Fonte: a autora

Outro ponto importante em relação à texturização de objetos é a classe de funções de correspondência. Sabe-se que uma imagem aparece na superfície onde (u, v) está no intervalo $(0, 1)$. O comportamento da textura fora desse intervalo é determinado pelo tipo de função de correspondência. Existem alguns tipos diferentes de função de correspondência, sendo que nesta pesquisa optou-se pela função normalmente utilizada como padrão (*default*) no programas de modelagem, na qual a imagem se repete fora do intervalo de $(0, 1)$, tanto na direção horizontal quanto na vertical. Essa função é útil para fazer a imagem de um material cobrir uma superfície repetidamente (*tile*), tornando-se uma forma simples de acrescentar detalhes visuais a uma cena. (Möller, Haines e Hoffman, 2008)

Os diferentes tipos de funções de correspondência podem ser comparados com os sistemas de repetição de módulo em design de superfície, sendo que no espaço paramétrico o módulo é a imagem dentro da área de 1×1 .

Nas Figuras 64 e 65, verifica-se que a função de correspondência é a default citada anteriormente. A imagem bidimensional, com formato quadrado, ocupa a área do espaço paramétrico e é repetida translacionalmente fora dele. Nota-se que a imagem possui uma margem (borda) branca e dezesseis círculos em seu interior.

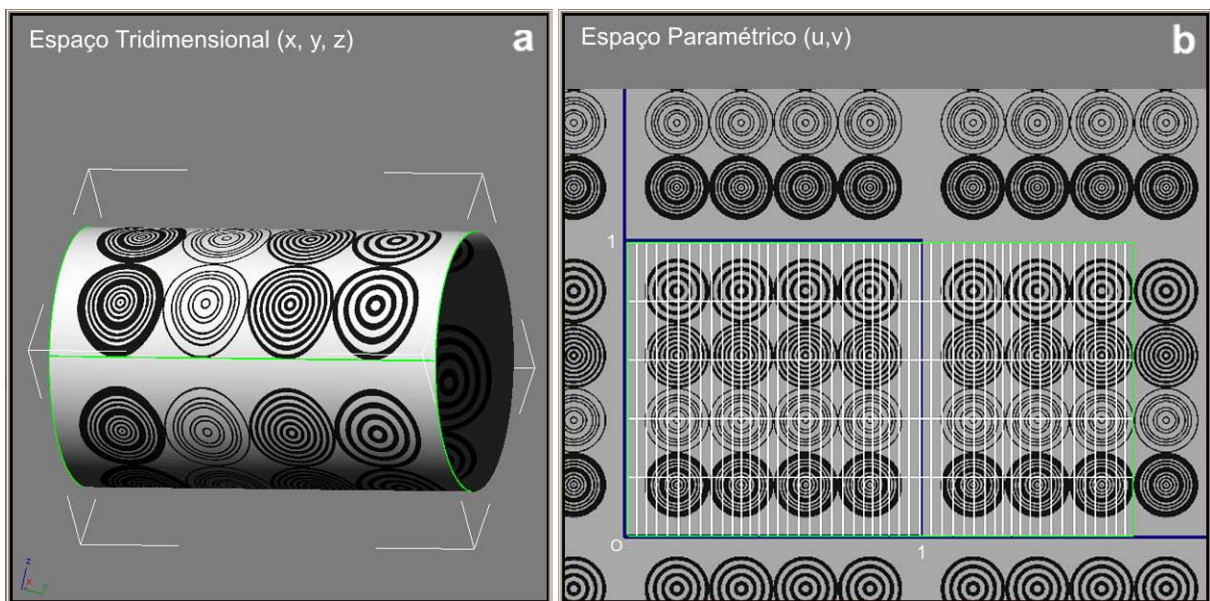


Figura 64: Função de Correspondência
Fonte: a autora

Observa-se, na Figura 64, que o mapa de textura extrapola o intervalo 1×1 , mas não chega a completar duas repetições da imagem na direção horizontal. Isso define o modo de distribuição da imagem bidimensional sobre o objeto tridimensional. Assim, como se pode ver, na Figura 64(a) a linha verde, que representa a aresta de fechamento da superfície do cilindro, tangencia os círculos. Já na Figura 65, como o mapa de textura abrange duas repetições, a extremidade direita da segunda repetição é também aplicada, resultando em uma faixa branca entre a linha verde e os círculos.

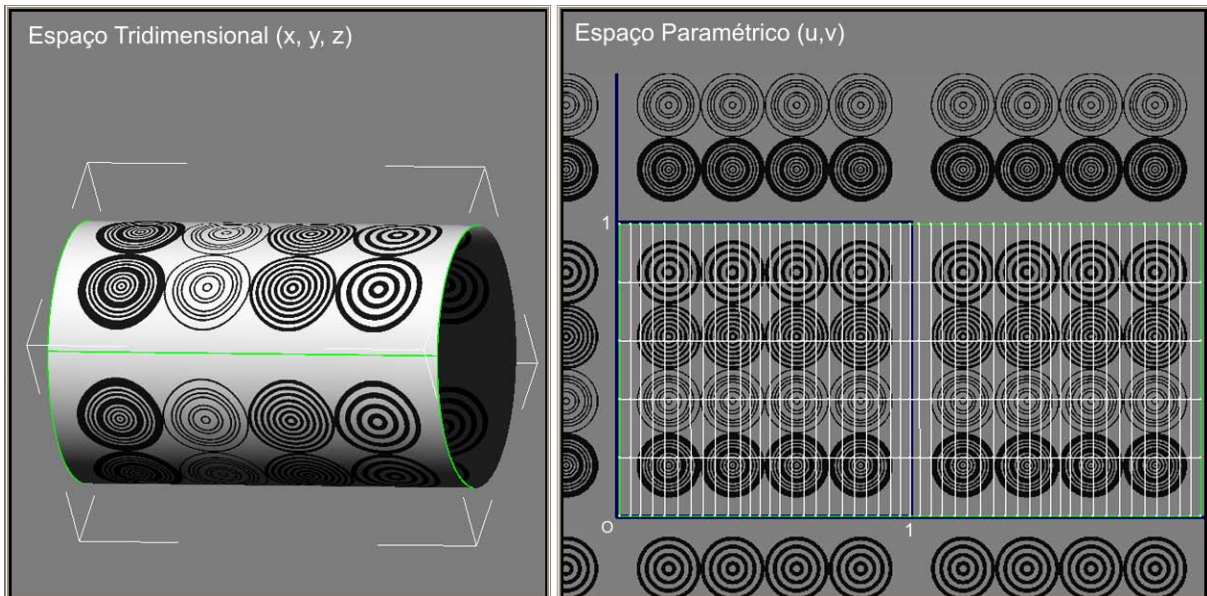


Figura 65: Função de correspondência

Fonte: autora.

Vértices, arestas e polígonos também podem ser manipulados (translação, rotação, escala, por exemplo), proporcionando ajustes pontuais em relação a distorção da imagem sobre a superfície tridimensional do objeto. Na Figura 66, percebe-se a utilização da função de deslocamento de um vértice nos dois espaços envolvidos (tridimensional e paramétrico), que resultou na redistribuição da imagem sobre a superfície do cilindro. Esses recursos são fortemente empregados no caso de superfícies não desenvolvíveis.

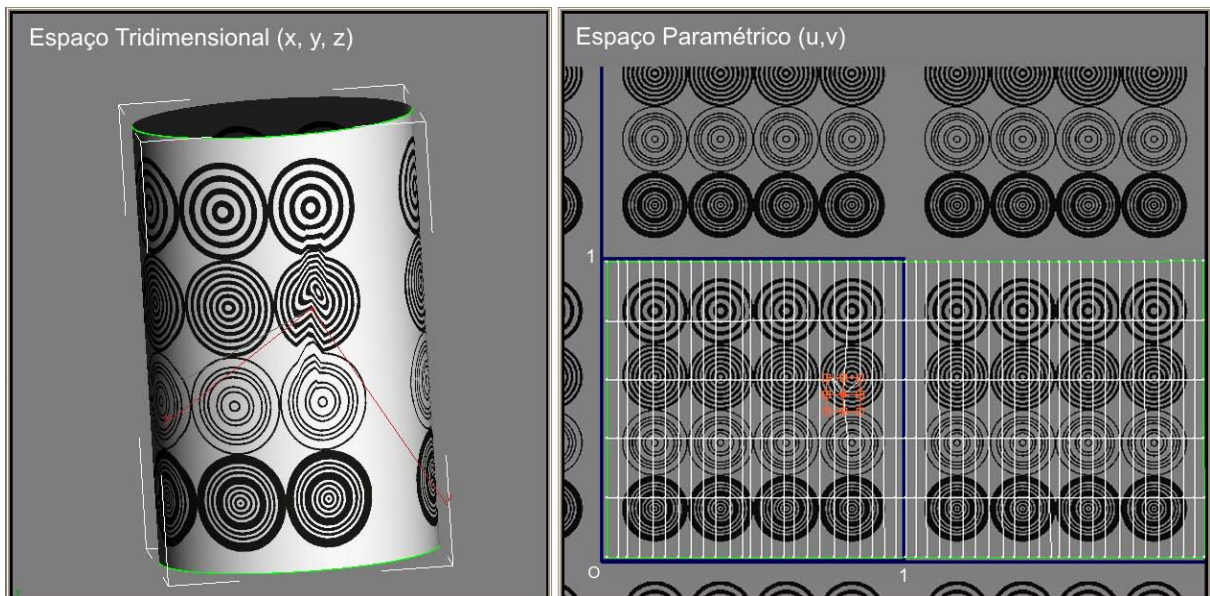


Figura 66: Manipulação de vértice

Fonte: a autora.

Como se pode perceber, existem muitas ferramentas de texturização de objetos tridimensionais, pois pesquisadores procuram, cada vez mais, aperfeiçoar o realismo das imagens virtuais, apresentando novas soluções e recursos para melhorar a aparência de superfícies. Há cada momento surgem trabalhos focando o problema de desenvolver um mapa de textura suave para ser aplicado sobre uma superfície complexa, de tal forma que o mapeamento introduza uma quantidade mínima de distorção no tamanho e na forma das texturas bidimensionais aplicadas.

2.6.3 Render to Texture

Na seção 2.6.2 (Processo de Texturização Computacional) são apresentados diversos recursos computacionais que possibilitam a texturização de objetos tridimensionais no espaço euclidiano. Essas ferramentas permitem, através da correspondência entre os espaços euclidiano e paramétrico, que uma imagem bidimensional seja distribuída estrategicamente na superfície do objeto tridimensional.

Por outro lado, na seção 2.5 (Processos de Fabricação de Superfícies Não-Planificáveis) demonstra-se, a partir da prática industrial, a necessidade do desenvolvimento de uma imagem bidimensional com os elementos distorcidos, de modo que estas distorções compensem as alterações que ocorreriam na imagem sobre a superfície tridimensional do objeto, no processo de impressão.

O recurso computacional denominado *Render to Texture* (disponível em softwares comerciais de modelagem 3D) possibilita gerar uma imagem bidimensional com distorções específicas, a partir de mapas de textura construídos no espaço paramétrico.

Segundo Cusson (2005), esse recurso é amplamente usado em indústrias de games. Nesse segmento de produtos, a ferramenta é utilizada para processar ou “mesclar” (*bake*) vários elementos de cena (textura, relevo, iluminação, sombra). Essa mescla de elementos resulta em uma única textura bidimensional que contempla todos esses aspectos de cena. Para mesclar os elementos de cena e

planificá-los em forma de textura bidimensional, são utilizados os mapas de textura do espaço paramétrico, vistos na seção 2.6.2, como elementos determinantes de como essa textura deve se distribuir no plano. Com isso, espera-se que essa textura planejada possa ser aplicada, posteriormente, no objeto tridimensional, causando a ilusão de que todos aqueles elementos mesclados na textura (relevo, iluminação, sombra) façam parte da cena, daí o nome “*render to texture*”. Esse processo permite que se desenvolvam games com alta qualidade visual e agilidade de processamento, pois reduz o esforço computacional ao texturizar efeitos como iluminação e sombreado, que normalmente dificultam o processamento em tempo real.

Para esta pesquisa, no entanto, o interesse por esse recurso não está em mesclar elementos de cena, mas sim na possibilidade de planejar a textura que já está aplicada no objeto de cena, a partir de mapas de texturas gerados no espaço paramétrico. Com isso pode-se gerar a imagem bidimensional distorcida desejada.

Atualmente, existem diversos tutoriais disponíveis na internet que permitem a compreensão desta ferramenta utilizada em softwares específicos, para esta pesquisa, entretanto, o importante é compreender o processo resultante da aplicação desse recurso computacional.

A lógica empregada na planificação da textura já mapeada no objeto tridimensional baseia-se na correspondência entre o espaço euclidiano e o paramétrico, descrita nos recursos apresentados na seção 2.6.2 (Processo de Texturização Computacional), que garantem que para cada ponto do domínio tridimensional (x, y, z) tem um ponto correspondente no domínio paramétrico (u, v) . Ou seja, é possível, através dessa correlação, que uma imagem bidimensional possa ser distribuída em uma superfície de um objeto tridimensional não planejável, a partir de um mapa de textura do espaço paramétrico. É possível também, a realização de uma operação inversa, isto é, que uma textura já aplicada na superfície do objeto tridimensional seja planejada e distribuída no plano a partir um mapa de textura específico. Isso consiste a principal função da ferramenta *render to texture*, no que se refere a esta pesquisa.

Na Figura 67, tem-se um exemplo do que ocorre em um processo típico de texturização de um objeto não planificável. Percebe-se que os círculos concêntricos da imagem bidimensional estão simétricos. Ao aplicar a textura bidimensional na superfície do objeto tridimensional, os círculos ficam elípticos, pela não correspondência geométrica entre a superfície da imagem e a superfície do objeto. Para que os círculos fiquem não elípticos no objeto tridimensional, altera-se adequadamente o mapa de textura no espaço paramétrico de modo que os círculos tenham as distorções eliminadas (conforme visto na seção 2.6.2).

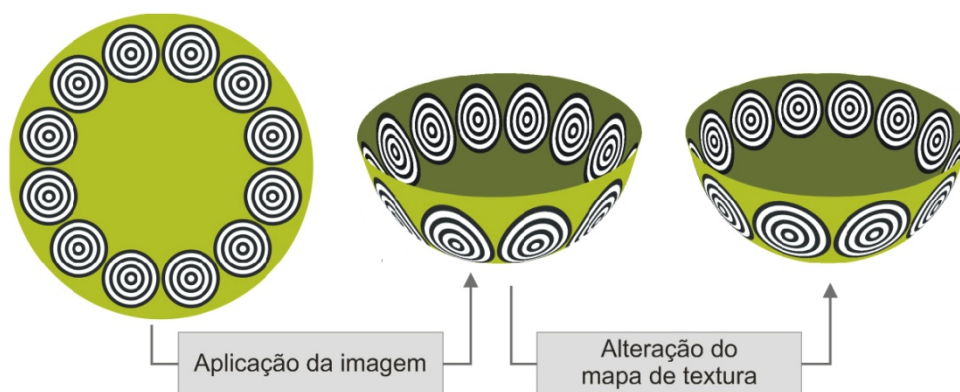


Figura 67: Exemplificação de um processo com distorção

Fonte: a autora

Já, na Figura 68, o processo ocorre de forma inversa, ou seja, tem-se uma textura já aplicada no objeto tridimensional (que contém círculos não distorcidos). Neste caso, os círculos estão não distorcidos no objeto, pois o mapa de textura foi alterado no espaço paramétrico, como está representado na Figura 67. Através da ferramenta “*render to texture*”, é possível processar-se a planificação da textura que está aplicada na superfície do objeto tridimensional especificando-se que a mesma deve distribuir-se no plano de acordo com um mapa de textura específico, que, neste caso, deve ser o mapa de textura original (antes de ter sido alterado para que os círculos ficassem não distorcidos sobre o objeto tridimensional).

Com isso, tem-se a textura do objeto tridimensional no plano, contendo as distorções de compensação. Posteriormente, essa textura planificada é aplicada ao objeto tridimensional sem que seja necessário alterar o mapa de textura original para que os círculos fiquem perfeitos, pois agora a textura bidimensional já contém as distorções necessárias para que a compensação ocorra e a textura fique correta no objeto tridimensional.

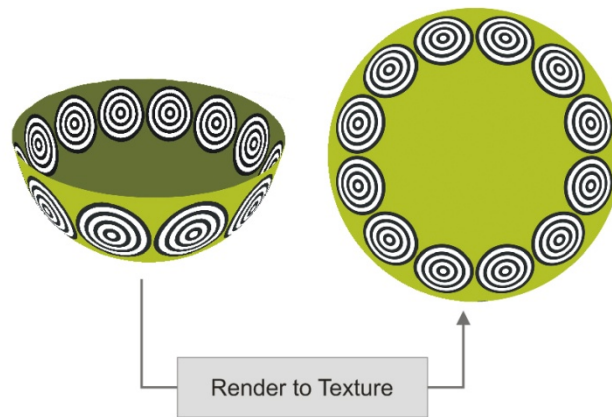


Figura 68: Exemplificação de um processo de controle de distorção usando a ferramenta *render to texture*.

Fonte: a autora

Assim, esta ferramenta (*render to texture*) será utilizada para a geração da imagem 2D distorcida, conforme a metodologia apresentada no Capítulo 3 e os estudos de casos do Capítulo 4.

3. METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO

O objetivo deste capítulo é descrever os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento deste estudo e o modo como o mesmo foi estruturado para se ter como resultado um método de intervenção de controle de distorção adequado ao projeto de superfícies de objetos manufaturados com geometria não desenvolvível. A descrição desses procedimentos visa organizar de forma sistematizada este estudo, tendo como base e direção a fundamentação teórica apresentada e a aplicação desta nos três estudos de caso da pesquisa.

A seguir tem-se a descrição dos procedimentos utilizados no desenvolvimento deste estudo:

- Estudo da fundamentação teórica que fornece o embasamento necessário ao desenvolvimento do método de controle de distorção. A fundamentação teórica foi construída a partir de uma pesquisa exploratória e estruturada através de raciocínio indutivo, tanto por meio de consultas a referências bibliográficas, artigos, dissertações e teses científicas, quanto por meio de visitas a empresas que costumam desenvolver projetos de superfícies para seus produtos. A construção teórica também se deu pela observação de processos produtivos e de entrevistas com profissionais que possuem experiências práticas. Procurou-se entrevistar pessoas de unidades fabris e da área da computação gráfica, mais especificamente nas áreas de games e desenhos animados.
- Prospecção de empresas que têm os problemas relacionados com as distorções. A partir da observação de produtos em pontos-de-venda em Porto Alegre, selecionou-se algumas empresas representativas que poderiam se interessar em unir esforços na pesquisa e desenvolvimento do método. Entrou-se em contato com três empresas (Oxford®, Tramontina® e Grendene®) e verificou-se a possibilidade.
- Estudo dos métodos adotados pelas indústrias para projetar superfícies visuais de produtos com formas não planificáveis que abordem o problema das distorções. Foram realizadas visitas às três fábricas

contatadas, onde foram realizadas entrevistas com funcionários com o objetivo de compreender os métodos utilizados e também conhecer as restrições de processos industriais dos produtos.

- Consolidação das relações com as empresas (de cerâmica, de metal, de polímero). Definiu-se que as três empresas envolvidas dariam suporte industrial, possibilitando o desenvolvimento do método e sua posterior verificação, contribuindo com todos os custos de protótipos necessários, em troca da disponibilidade do método que poderia ser posteriormente utilizado pelas três empresas.
- Definição dos três produtos de estudos de casos (cerâmico, metal, e polímero). Ao definir-se os produtos para tornarem-se estudos de caso desta pesquisa, usou-se como critério de seleção os produtos com maior complexidade geométrica existentes nos portfólios das três empresas, a fim de ampliar a representatividade do método proposto por esta pesquisa.
- Identificação e estudo dos recursos computacionais disponíveis. Este procedimento desenvolveu-se a partir da construção da fundamentação teórica já citada e posterior estudo de softwares de modelagem tridimensionais. Este último estudo contou com o apoio fundamental do designer de games Gerson Klein⁶. Os estudos consistiram-se em avaliar as possibilidades de redirecionamento de ferramentas normalmente utilizadas no desenvolvimento de produtos virtuais como games e desenhos animados, no desenvolvimento de produtos manufaturados produzidos em escala industrial. Ao estruturar a adaptação (produto digital – produto físico), através de raciocínio indutivo verificou-se a necessidade de produzir-se um protótipo físico que serviria de referência, ou seja, um protótipo que indicasse as distorções visuais decorrentes da não correspondência de geometria entre as duas superfícies (a que reveste e a revestida). Esse protótipo físico foi denominado de “protótipo de referência”. Nele estão indicadas também as distorções decorrentes dos processos de impressão.

⁶ Designer, com experiência em desenvolvimento de games (modelagem e texturização). Faz parte da equipe de criação da empresa de games UBISOFT ENTERTAINMENT (Southlogic Studios, SLS, Brasil, Porto Alegre).

Utilizá-lo como referência serviu para demonstrar que possíveis efeitos de variáveis de processo de impressão podem ser neutralizados.

- Definição e desenvolvimento das três imagens bidimensionais aplicadas aos protótipos de referência. Procurou-se definir uma imagem que facilitasse a localização de posições visuais na imagem e suas distorções, por isso desenvolveu-se uma grade com coordenadas crescentes nos sentidos x e y. A grade foi construída em software de edição de imagem vetorial e posteriormente exportada para um formato bitmap. As imagens foram preparadas de acordo com as especificações técnicas fornecidas pelas três empresas.
- Produção dos três protótipos de referência nas fábricas. As imagens foram enviadas para as três fábricas, onde os três protótipos de referência física foram fabricados em unidade fabril.
- Construção das malhas dos três modelos tridimensionais em programa de modelagem 3D; As malhas foram construídas em software de modelagem tridimensional (3D Max 2009), a partir de referenciais diferentes entre os três produtos envolvidos. A tigela da Oxford foi modelada tendo como referência uma imagem bidimensional que indica o perfil de revolução utilizado na construção do objeto. A chaleira da Tramontina foi modelada tendo como referência a própria modelagem 3D (arquivo digital fornecido pela empresa) utilizada para o desenvolvimento de matrizes do produto. A sandália da Grendene foi modelada tendo como referência a modelagem digital do produto obtida através de escâner tridimensional.
- Definição e desenvolvimento das três imagens bidimensionais aplicadas aos protótipos finais. As imagens foram desenvolvidas com o propósito de demonstrar com facilidade a existência ou não de distorções, por isso foram definidos círculos como elementos visuais. As imagens foram construídas em softwares de edição de imagem vetorial e posteriormente exportadas para formato bitmap.
- Desenvolvimento do método de controle de distorção. Com o protótipo de referência e as imagens de círculos a disposição, iniciou-se o estudo efetivo de utilização dos recursos fornecidos pela computação

gráfica descritos na fundamentação teórica. Foram realizados diversos testes de texturização digital e *render to texture*. Nestes procedimentos perceber-se que o domínio de recursos de computação gráfica são tão fundamentais quanto o domínio de conhecimentos como: fundamento da linguagem visual, geometria plana e descritiva, softwares de edição de imagens bidimensionais (vetoriais e bitmaps). Foi a partir de diversas tentativas de estudo, relacionando os recursos descritos na fundamentação teórica com os conhecimentos acima referidos, que se chegou às três imagens planas distorcidas aptas para os testes de verificação em unidade fabril.

- Aplicação do método de controle de distorção proposto nos três protótipos reais. As três imagens foram enviadas para as respectivas empresas, onde foram aplicadas, utilizando-se a estrutura industrial das três fábricas envolvidas, a fim de comprovar a eficácia do método.
- Análise dos três resultados (da tigela, da chaleira e da sandália). Foi realizada uma análise visual, verificando a sintaxe dos círculos contidos nas imagens, (se estavam simétricos ou elípticos).
- Descrição do método de controle de distorção. A partir do estudo realizado na prática, o método foi descrito detalhadamente no capítulo 4 desta dissertação.

4. MÉTODO DE CONTROLE DE DISTORÇÃO

Com base no objetivo geral desta pesquisa e na fundamentação teórica descrita anteriormente, este capítulo pretende apresentar um método de controle de distorção adequado ao design de superfície de produto industrial, produzido em larga escala, com forma tridimensional não planificável, de modo a minimizar as distorções gráficas procedentes da aplicação de uma imagem bidimensional num objeto tridimensional, considerando, principalmente, a complexidade da geometria do objeto. Para facilitar tal demonstração, utilizam-se os três produtos selecionados para estudos de casos, a tigela, a chaleira e a sandália, apresentados na Figura 69, que contribuem igualmente com as verificações do método nas práticas industriais da Oxford[®], da Tramontina[®] e da Grendene[®], as quais também estão apresentadas neste capítulo, respectivamente.

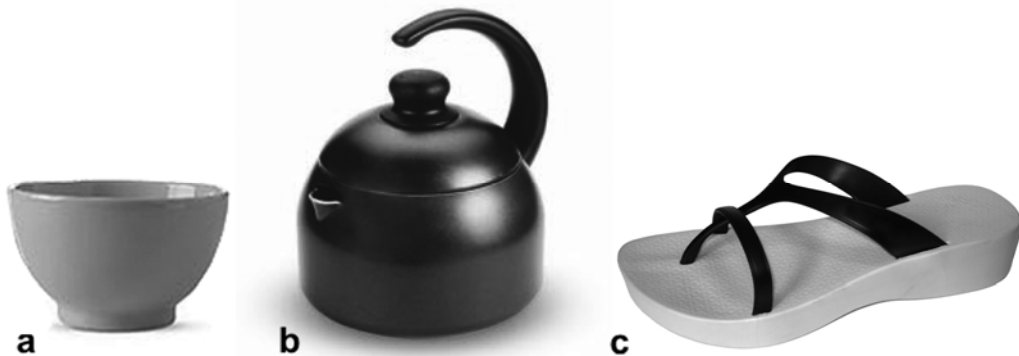


Figura 69: Produtos selecionados para estudos de casos
 Fonte: (a) Tigela Oxford[®] ; (b) Chaleira Tramontina[®] ; (c) Sandália Grendene[®]

O método tem por objetivo gerar uma imagem bidimensional distorcida, que evite (por compensação) as distorções que ocorrem na imagem quando não se considera a não correspondência de geometria entre as superfícies envolvidas, a da imagem que reveste e a do objeto tridimensional não planificável revestido. Neste método, esta imagem bidimensional distorcida será denominada “imagem 2D distorcida”.

Para efeito de entendimento, os elementos obtidos com a computação gráfica serão, nesta pesquisa, acrescidos em suas denominações da palavra “virtual”, para que se evite confusão com produtos físicos (manufaturados) que em alguns momentos são relacionados.

Com a finalidade de gerar uma unidade visual no trabalho e provocar um estudo comparativo entre os três produtos estudados, optou-se por desenvolver uma identidade entre as imagens aplicadas em cada um deles. Ao definir os elementos de composição, procurou-se utilizar como critério de criação elementos que promovem continuidade visual, por isso selecionou-se o círculo como motivo principal. Segundo Gomes (2000, p. 33), “o círculo é, evidentemente, a configuração formal de melhor continuidade, uma vez que o percurso do olhar não sofre nenhuma interrupção ou desvio no seu percurso.” A intenção de construir uma imagem com círculos é facilitar que qualquer distorção existente seja percebida. Com isso espera-se que o método fique claro e didático. Na Figura 70, tem-se a imagem padrão desenvolvida para esta pesquisa. Para cada um dos produtos estudados (tigela, chaleira e sandália) fez-se variações específicas, que não comprometem a identidade visual entre os três objetos.



Figura 70: Padrão visual desenvolvido para aplicação

Fonte: a autora

O método de controle de distorção proposto nesta pesquisa fundamenta-se na utilização da representação paramétrica de superfícies, mais especificamente no uso da correspondência existente entre o espaço tridimensional e o espaço paramétrico da superfície. Também são empregados os recursos de mapeamento de imagens e *render to texture*.

Em direção ao método, especificamente, faz-se necessário recorrer à fundamentação teórica desta pesquisa, principalmente no que se refere ao conceito de mapeamento de imagem. Conforme Möller, Haines e Hoffman (2008), mapeamento de imagem é o processo de obtenção dos valores do espaço paramétrico ou mapa de imagem, isto é, os valores dos pontos (u, v) que possuem correspondência com os pontos (x, y, z) da superfície do objeto tridimensional no espaço euclidiano. Mapas são gerados a partir de funções de projeção ou

desembrulho de superfícies paramétricas. Os mapas são usados para acessar a imagem e modificar seu modo de distribuição na superfície do objeto tridimensional no espaço euclidiano.

O método de controle de distorção proposto como resultado desta pesquisa consiste, essencialmente, na construção de dois mapas de imagem para cada modelo geométrico, e posterior, geração de uma “imagem 2D distorcida”, que é constituída a partir da relação entre esses dois mapas. O primeiro mapa, que será denominado de “mapa 1”, posiciona a imagem sobre a superfície do objeto tridimensional de modo a simular o que acontece na prática, ou seja, como a imagem se dispõe sobre a superfície do objeto tridimensional físico quando é impresso sobre ele. O segundo mapa, que será denominado de “mapa 2, distribui a imagem de acordo com o que se espera do projeto, ou seja, é aquele mapa que permite a aplicação da imagem sobre a superfície do objeto tridimensional sem distorções. Construídos estes dois mapas no espaço paramétrico (u,v) , relaciona-se os dois, com a finalidade de gerar uma “imagem 2D distorcida”, através do recurso computacional *render to texture*.

Para elucidar esses procedimentos, optou-se por dividir o método em três etapas distintas e essenciais, que em seguida são explicadas separadamente. São elas:

- Etapa 1 - Construção do mapa 1.
- Etapa 2 - Construção do mapa 2.
- Etapa 3 - Construção da “imagem 2D distorcida”.

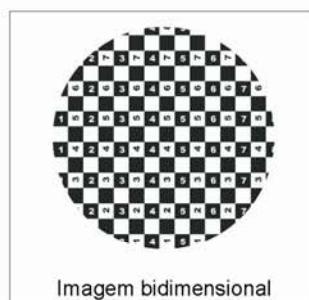
Posteriormente a explicação resumida das 3 etapas, o método é aplicado nos três produtos selecionados, quando é aprofundado, considerando as particularidades de cada um.

4.1 ETAPA 1 - CONSTRUÇÃO DO MAPA 1

Etapa 1: construção do MAPA 1

Esta primeira etapa do método tem como finalidade a construção do MAPA 1, que é o mapa que distribui a imagem sobre a superfície do objeto tridimensional de modo a simular o que ocorre no processo industrial. Esta etapa divide-se em cinco procedimentos básicos, abaixo descritos:

- 1º Construção de uma imagem bitmap (imagem bidimensional), composta de uma grade com duas coordenadas (x,y) de valores crescentes nos dois sentidos.



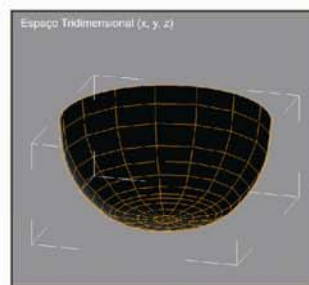
Seu desenho tem o propósito de facilitar a localização de cada ponto específico da imagem. Depois de preparada em um software de edição de imagem bidimensional, deve ser impressa no objeto físico tridimensional, constituindo o protótipo de referência.

- 2º Construção do protótipo de referência físico (real), em unidade industrial. Esse protótipo de referência serve para indicar como a imagem se distribui sobre a superfície do objeto na prática, mostrando as distorções causadas pela não correspondência de geometria entre as duas superfícies envolvidas (a que reveste e a revestida).



O protótipo de referência é o sinalizador das distorções que ocorrem durante todo o processo de aplicação da imagem na superfície do objeto (físico). Através dele, espera-se neutralizar os efeitos das variáveis de processo de fabricação e de material. A cada novo projeto, no qual a geometria do produto é alterada, tem-se necessariamente que produzir outro protótipo de referência.

- 3º Com o protótipo de referência disponibilizado pela fábrica, utiliza-se agora os recursos fornecidos pela computação gráfica. Modela-se o objeto tridimensional em software 3D.



- 4º O próximo procedimento consiste em aplicar a mesma imagem que foi utilizada no protótipo de referência físico na superfície do modelo computacional tridimensional. A imagem distribui-se na superfície do objeto conforme as coordenadas (u, v) do mapa de imagem correspondente ao objeto.

Como ainda não foram executadas funções de projeção ou de "desembrulho" da malha para obter novos valores no espaço paramétrico, os valores utilizados são aqueles gerados naturalmente pela superfície paramétrica do objeto, por isso a imagem fica com distorções ao ser aplicada no objeto (ver figura abaixo).



- 5º O último procedimento desta etapa consiste em alterar (através de ferramentas computacionais descritas abaixo) o mapa de imagem no espaço paramétrico (u,v), visualizando o objeto virtual no espaço euclidiano (x,y,z), de modo que a distribuição da imagem aplicada no objeto virtual se aproxime daquela que está no protótipo de referência físico. Quanto mais semelhante a aplicação virtual estiver à física, mais controle sobre o projeto de superfície se tem.



Para realizar essas alterações, pode-se fazer uso de funções de manipulação de vértices, arestas ou faces do mapa de imagem dentro do espaço paramétrico. Para casos com geometrias mais complexas, como a chaleira e a sandália, é necessária a utilização de funções de projeção e desembrulho automático.

Figura 71: Diagrama explicativo da etapa 1 do método de controle de distorção

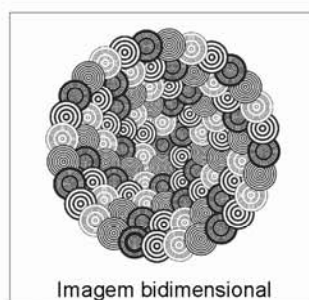
Fonte: a autora

4.2 ETAPA 2 - CONSTRUÇÃO DO MAPA 2

Etapa 2: construção do MAPA 2

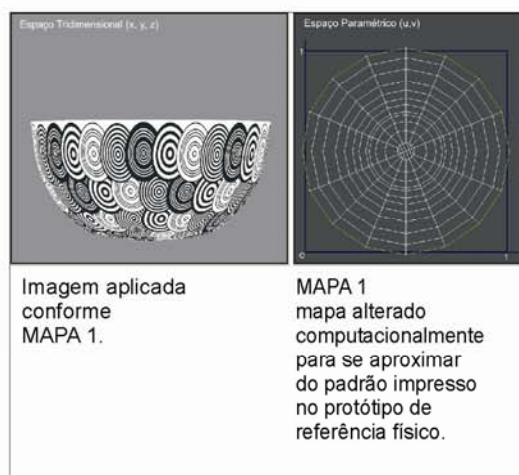
Esta segunda etapa do método tem como finalidade a construção do MAPA 2, que é o mapa que distribui a imagem sobre a superfície do objeto tridimensional de acordo com o que se espera do projeto, ou seja, é aquele mapa que permite a aplicação da imagem sem distorções. Esta etapa divide-se em três procedimentos básicos, abaixo descritos:

- 1º O primeiro procedimento desta etapa é a construção da imagem bitmap que se pretende aplicar ao objeto físico.



- 2º Após aplica-se a nova imagem bidimensional no objeto tridimensional modelado. Esta imagem é aplicada no objeto utilizando o mapa 1.

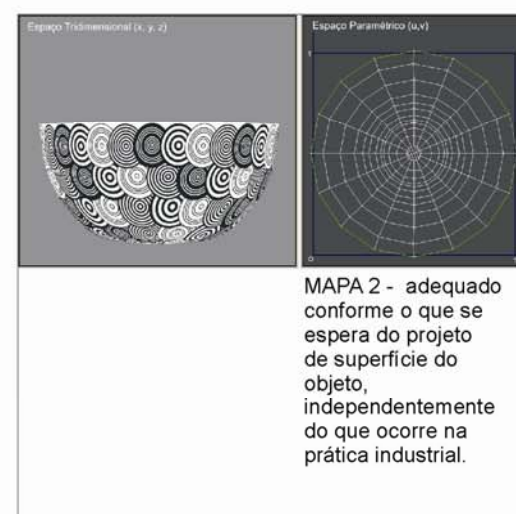
Percebe-se que a imagem está distorcida sobre o objeto, simulando o que ocorreria com essa imagem caso fosse aplicada no objeto físico em unidade fabril.



Ao final desse procedimento, salva-se o mapa1, que será acessado novamente na etapa 3 do método.

- 3º O mapa 2 é construído para obter o modelo virtual que é esperado no projeto final da imagem no produto. A imagem bitmap utilizada é a mesma do procedimento 2.

Para construir o mapa 2 é preciso gerar os valores do espaço paramétrico (u,v). Esses valores podem ser gerados a partir de funções de projeção ou desembrulho de superfície paramétrica, ou também, podem ser copiados de um outro mapa já existente (referente ao mesmo objeto), como por exemplo, o mapa naturalmente gerado pela superfície paramétrica do objeto ou o mapa 1 já constituído.



Depois de gerados os valores do espaço paramétrico, utiliza-se as ferramentas de manipulação de vértices, arestas e faces do mapa para adequá-lo de modo que distribua a imagem no objeto tridimensional conforme o que se espera do projeto.

Percebe-se que agora a imagem não está distorcida sobre a superfície do objeto tridimensional não planificável.

Em alguns casos, com geometrias mais simples, em que as distorções são sutis, pode-se construir o mapa 2 a partir do mapa 1, pois tratam-se de pequenas alterações, como é o caso da da semi-esfera exemplificada.

Figura 72: Diagrama explicativo da etapa 2 do método de controle de distorção

Fonte: a autora

4.3 ETAPA 3 - CONSTRUÇÃO DA IMAGEM 2D DISTORCIDA

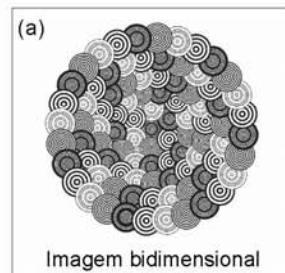
Etapa 3 - construção da imagem 2D distorcida

Com os dois mapas construídos (1 e 2), inicia-se a terceira e última etapa do método. A finalidade desta etapa é gerar a "imagem 2D distorcida". Esta imagem será impressa no material utilizado para a fabricação do objeto ou no próprio objeto, dependendo do processo de impressão empregado.

Para tanto, recorre-se à ferramenta *render to texture*, mencionada na seção 2.6.3. Esse recurso possibilita planificar a imagem aplicada na superfície do objeto no espaço euclidiano e distribuí-la no plano de acordo com as indicações de um mapa de imagem gerado no espaço paramétrico - constituindo a "imagem 2D distorcida".

No entanto, para que essa "imagem 2D distorcida" seja adequada, de modo a compensar as distorções, é necessário provocar uma correspondência entre os dois mapas gerados 1 e 2, isto é, estabelecer uma correspondência entre o mapa 1 que simula a realidade, com o mapa 2, que é a distribuição da imagem no objeto conforme se espera do projeto.

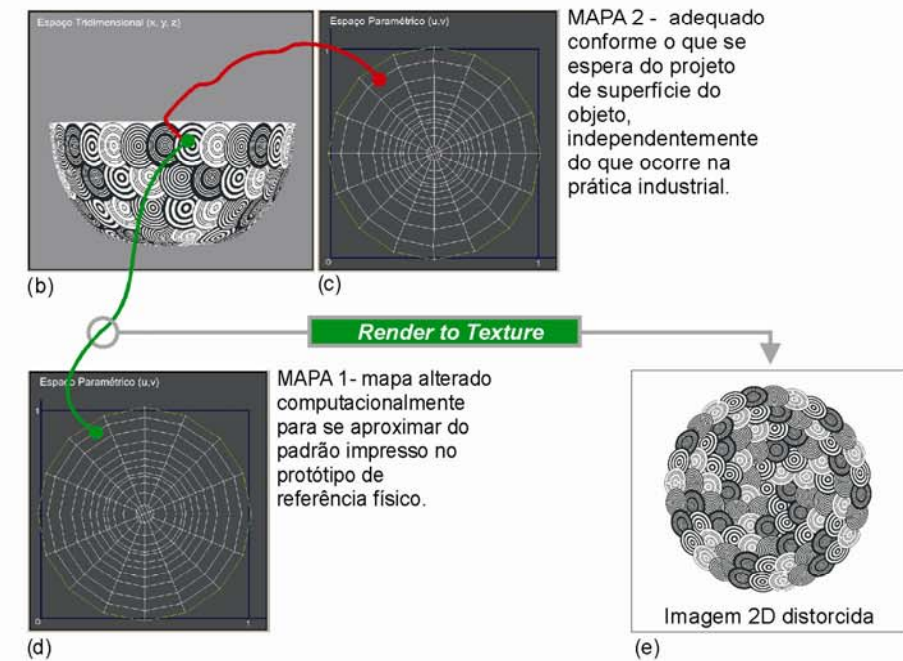
Para que isso ocorra, é necessário que a imagem bidimensional, (Figura a), seja aplicada à superfície do objeto e distribuída no espaço tridimensional, conforme o mapa 2 (Figura b e c).



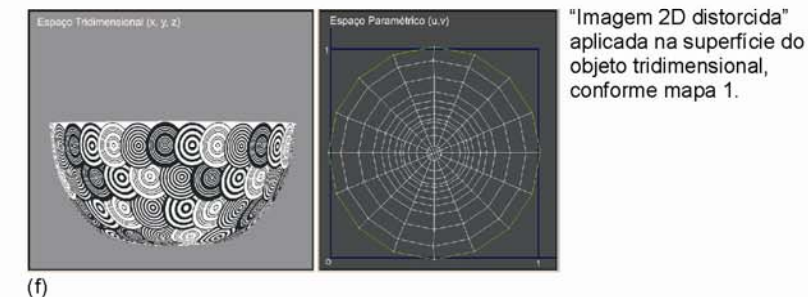
Após, acessa-se a ferramenta *render to texture* e ativa-se a função de planificação da imagem disposta na superfície do objeto no espaço euclidiano, porém define-se que ela no plano deve distribuir-se conforme as indicações do mapa 1 (Figura d), e não do mapa 2 (Figura c), dando-se a correspondência entre os dois mapas.

Assim, perceber-se que a primeira correspondência dá-se entre a imagem aplicada na superfície do objeto no espaço euclidiano e o mapa 2, que define a distribuição dessa imagem sobre o objeto. Essa correspondência está representada pela linha vermelha na Figura (b e c). Já, a segunda correspondência, promovida pela ferramenta *render to texture*, dá-se entre a imagem aplicada na superfície do objeto no espaço euclidiano e o mapa 1. Essa correspondência está representada pela linha verde na Figura (b e d). Em ambas as correspondências, para cada ponto (x, y, z) da imagem aplicada na superfície do objeto no espaço tridimensional, existe uma correspondência de pontos (u, v) , ora no mapa 2, ora no mapa 1.

Quando a imagem aplicada na superfície do objeto no espaço euclidiano é planificada e distribuída conforme o mapa 1, está gerando-se a "imagem 2D distorcida" representada na Figura (e).



Ao final do método, verifica-se a eficácia do mesmo ainda no meio computacional, ou seja, aplica-se a "imagem 2D distorcida" na superfície do objeto no espaço tridimensional, de modo que a mesma seja mapeada na superfície de acordo com o mapa 1. Se a imagem estiver sem as distorções, o método foi eficaz. A verificação está representada na Figura (f).



ROTEIRO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO

- 1º) Construção dos mapas 1 e 2;
 - 2º) Aplicação da imagem bitmap segundo o mapa 2.
 - 3º) Aplicação do *render to texture* que planifica a imagem da superfície do objeto 3D e a distribui no plano conforme o mapa 1.
- OBS 1:** como resultado obtém-se a imagem 2D distorcida que compensa o processo de fabricação.
- OBS2:** o processo é interativo, ou seja, qualquer alteração no mapa 2, resulta imediatamente em alteração da imagem 2D distorcida.

Figura 73: Diagrama explicativo da etapa 3 do método de controle de distorção

Fonte: a autora

Na sequência são apresentados, detalhadamente, os estudos de casos da tigela, da chaleira e da sandália. Essa recorrência do método nos três produtos, um depois do outro, tem por intenção favorecer a compreensão por repetição do mesmo e o enriquecimento da pesquisa através das diferenças existentes entre os três casos, devido às distintas geometrias. São abordados os pontos mais significativos de cada etapa do método para que se possa compreender com mais clareza o desenvolvimento de cada um dos projetos de superfície. Em muitos momentos os passos são os mesmos de um caso para o outro, no entanto é essa mesma repetição que permite que não se tenha dúvida sobre a validade do método para produtos físicos com diferentes geometrias, materiais e processos.

Em princípio, os fundamentos do método são simples, assim como a lógica empregada. No entanto, quando se passa para a prática de desenvolvimento de superfície de produto com geometria não desenvolvível, depara-se com as dificuldades em se associar os desenhos pretendidos com as geometrias diferenciadas e complexas de cada produto.

Os estudos de casos são apresentados em ordem crescente de complexidade geométrica. Em cada caso, teve-se que utilizar opções diferentes de recursos, o que demonstra que, quando se desenvolve projetos para superfícies não desenvolvíveis, o grau de planejamento estratégico em relação às variáveis dadas pela complexidade de cada geometria é extremamente maior que num projeto para superfície planificável.

Cabe ressaltar também que para agir estrategicamente em cada projeto, diante das variações volumétricas dos objetos, o designer precisa utilizar-se de diversos conhecimentos prévios, como noções de geometria plana e descritiva, fundamentos da linguagem visual e do design de superfície (construção de módulo, rapport), restrições de processos de impressão e de fabricação dos objetos. Além disso, deve ter a habilidade de relacionar esses diversos aspectos do conhecimento e usá-los de modo a otimizar o trabalho e garantir a qualidade do serviço.

4.4 ESTUDOS DE CASOS

4.4.1 Estudo de Caso 1 - Tigela de Cerâmica

Como já foi mencionado, o método inicia com o desenvolvimento do protótipo de referência produzido em unidade fabril, exemplificado na Figura 74, que aponta as posições da superfície da tigela que apresentam distorções.



Figura 74: Protótipo de referência físico
 Fonte: Produzido pela Oxford® para esta pesquisa

Para a produção do protótipo de referência físico, é construída uma imagem, apresentada na Figura 75, composta de uma grade com duas coordenadas (x,y) de valores crescentes nos dois sentidos. A área da imagem bidimensional deve ser correspondente à área da superfície da tigela que será impressa (softwares de modelagem de produtos fornecem essa informação com facilidade), porque a não correspondência de área é um agravante para a ocorrência de distorções, como foi descrito na seção 2.4. A imagem neste caso será impressa pelo processo de tampografia, conforme seção 2.5.1

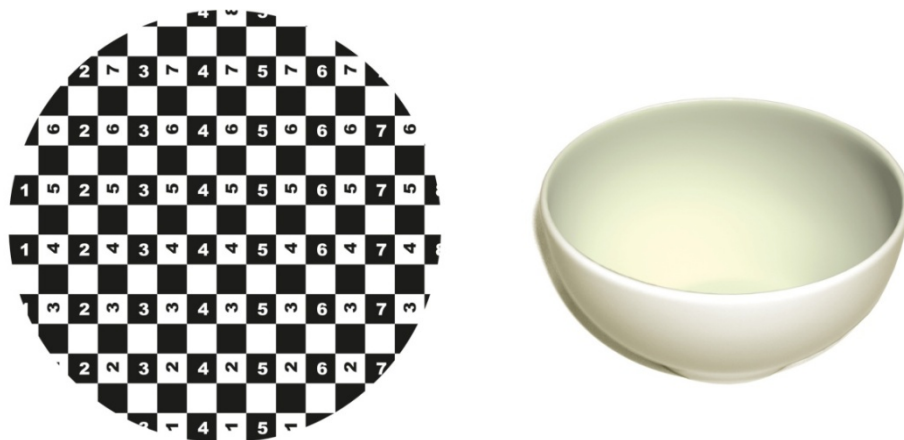


Figura 75: Imagem bidimensional desenvolvida para ser aplicada no protótipo de referência
 Fonte: a autora

Com o protótipo de referência físico disponibilizado pela fábrica, parte-se para os recursos fornecidos pela computação gráfica. Modela-se a superfície paramétrica do objeto, preferencialmente uma malha simplificada, com o menor número possível de polígonos. A modelagem da tigela está representada na Figura 76. O fato de ser simples otimiza o projeto, pois o arquivo fica leve, possibilitando a aplicação de imagens com rapidez de processamento.

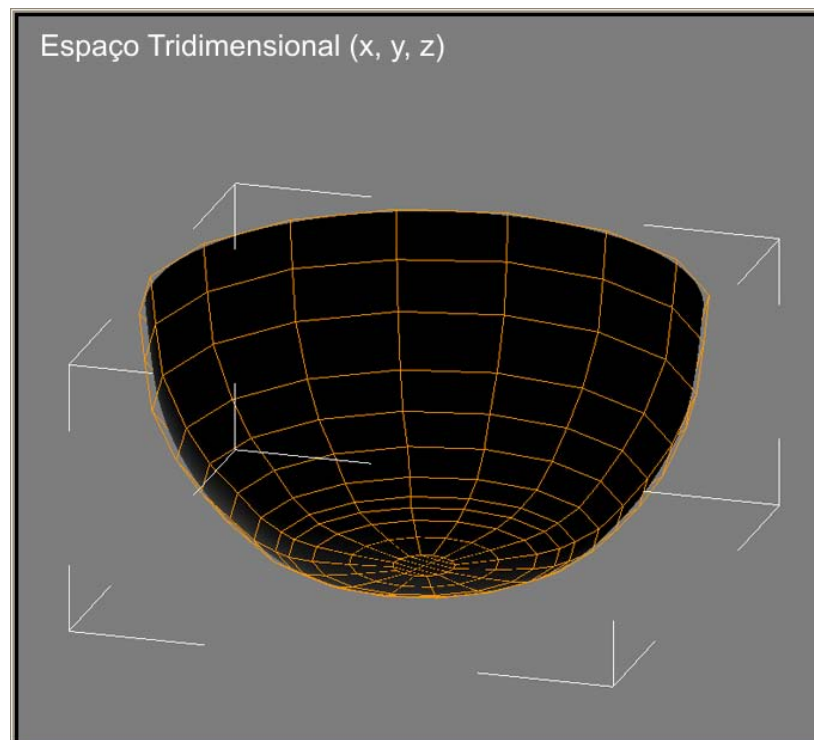


Figura 76: Modelagem da tigela

Fonte: a autora

O mais importante dessa etapa é garantir-se que o objeto tridimensional modelado está com a geometria praticamente igual, se possível idêntica à do protótipo de referência. Qualquer diferença geométrica pode causar resultados posteriores insatisfatórios.

O projeto da tigela prevê a impressão no interior da mesma. Como o produto não possui uma espessura regular em toda a sua superfície, de modo que fosse possível utilizar o perfil externo como referência para a modelagem, foi necessário fazer um molde com material odontológico que evidenciasse o perfil interno de revolução do objeto. A partir desse molde, apresentado na Figura 77, o modelo virtual pode ser modelado por cima com facilidade, pois se cortou a semi-esfera (o

molde) ao meio e utilizou-se um escâner bidimensional para obter o perfil exato do produto.

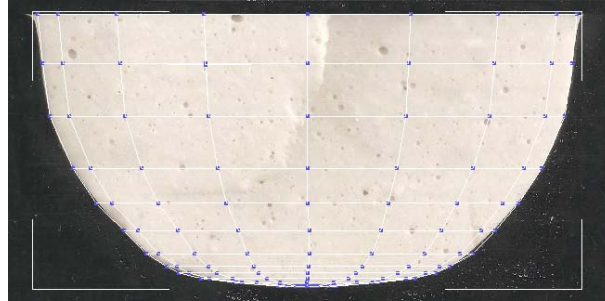


Figura 77: Molde da tigela feito com material odontológico

Fonte: a autora

O adequado nesta situação seria ter como referência para a modelagem o arquivo que gera a matriz do objeto na fábrica, porém, no caso de cerâmica, como foi visto na seção 2.5.1, os produtos passam por uma primeira queima para adquirirem resistência suficiente para o processo de tratamento de superfície. Nessa queima eles reduzem seus volumes, assim, o arquivo que determina a matriz não é correspondente ao produto.

Ao modelar, deve-se dar preferência apenas à superfície que receberá a imagem, as demais podem ser dispensadas. No caso da tigela, por exemplo, desconsiderou-se a superfície externa do objeto, já que o projeto prevê a impressão da imagem apenas no interior; essa opção facilitou a visualização da imagem, que pode ser vista por ambos os lados (interno e externo) .

Na próxima etapa, aplica-se a imagem que foi utilizada no protótipo de referência físico à superfície modelada, como está representado na Figura 78. Optou-se por pintar de preto a parte externa apenas nesta simulação, pois como foi dito no parágrafo anterior a imagem pode ser vista pelos dois lados do objeto, para facilitar a visualização da superfície de dentro do pote. Ao longo deste capítulo, sempre que possível o objeto virtual será representado tanto no espaço tridimensional (euclidiano) quanto no espaço paramétrico, um ao lado do outro, como na maioria dos programas de modelagem. Assim visualiza-se tanto o mapa que define como a imagem se distribui na superfície do objeto quanto a própria superfície do objeto revestido.

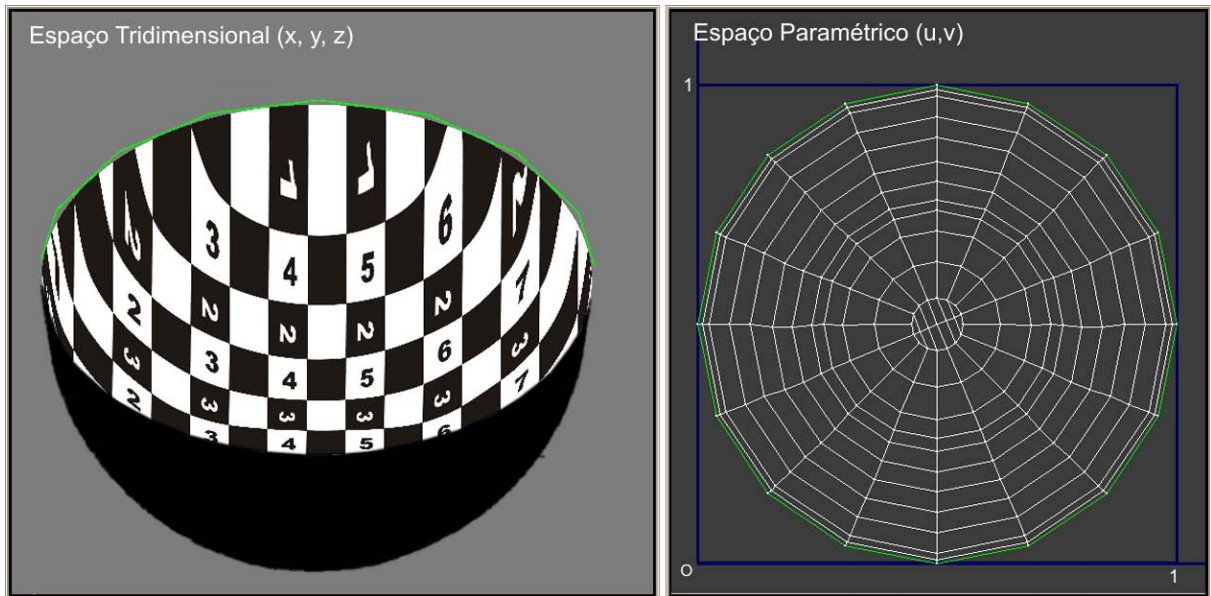


Figura 78: Aplicação da imagem bidimensional conforme o mapa original

Fonte: a autora

A operação seguinte consiste em alterar o mapa de imagem no espaço paramétrico (u,v) , visualizando o objeto virtual no espaço euclidiano (x,y,z) , de modo que a distribuição da imagem aplicada no objeto virtual se aproxime daquela que está no protótipo de referência físico.

Na Figura 79, tem-se o protótipo de referência físico ao lado do modelo virtual. A mesma imagem é aplicada em ambos. Os dois objetos possuem praticamente o mesmo volume, mas as imagens, embora iguais, são distribuídas de forma distinta nas suas respectivas superfícies.

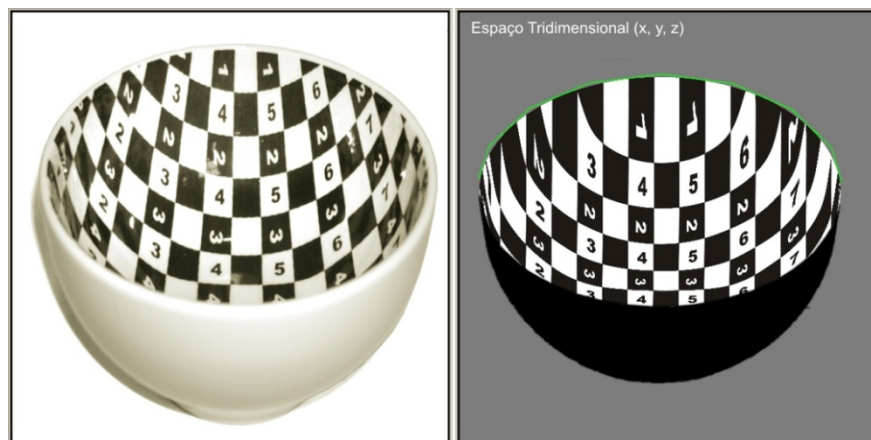


Figura 79: Comparação da imagem no objeto físico e no virtual conforme o mapa original

Fonte: a autora

Na imagem do protótipo de referência físico, as distorções são definidas pela não correspondência geométrica entre as superfícies (a que reveste e a revestida) e pelas variáveis de processo industrial. Já na imagem virtual, as distorções são definidas pelo mapeamento da imagem, que está determinando como a imagem deve se distribuir sobre a superfície do objeto virtual.

Agora, é preciso ajustar o mapa da imagem no espaço paramétrico, visualizando no espaço tridimensional, até o ponto em que a distribuição da imagem no objeto virtual, fique o mais semelhante possível a distribuição da imagem no protótipo de referência físico, como pode ser observado na Figura 80.



Figura 80 - Comparação da imagem no objeto físico e no virtual conforme o mapa 1

Fonte - a autora

Essa etapa do método é de fundamental importância, pois simula o que ocorre na prática quando a imagem é aplicada no objeto físico. A simulação virtual do que ocorre na prática industrial é a garantia de que os efeitos das variáveis de processo de fabricação estão sendo considerados, neste caso, neutralizados pelo protótipo de referência físico.

No caso da tigela, foi simples alterar o mapa 1, pois pode-se aproveitar o mapa gerado naturalmente pela definição da superfície paramétrica do objeto tridimensional. Na Figura 81 (a) tem-se o mapa anterior às modificações, e na Figura 81 (b), o mapa 1 finalizado. Como se percebe a alteração é pouco expressiva, o que classifica esse projeto como uma superfície com um grau simples de ser resolvido, pois o aproveitamento de mapas otimiza o projeto.

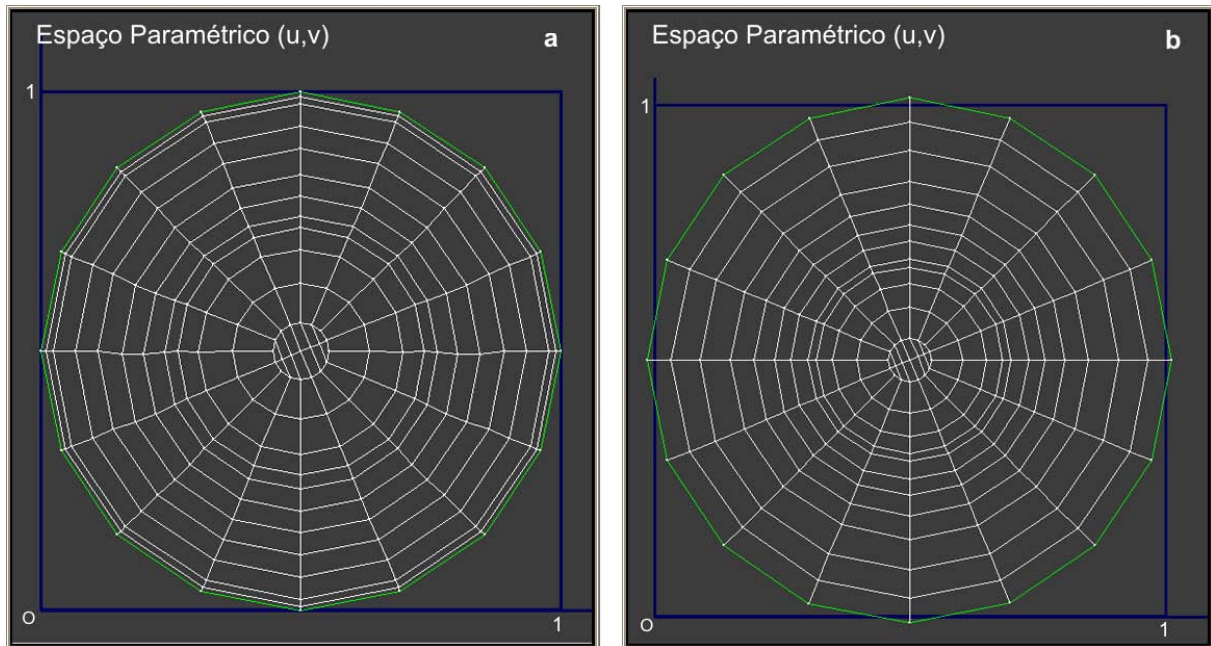


Figura 81: Comparação dos mapas original (a) e mapa 1 (b)

Fonte: a autora

Na Figura 82, tem-se um exemplo de como pode ocorrer a manipulação da imagem na superfície do objeto. O designer faz as alterações pelo espaço paramétrico, e estas podem ser visualizadas simultaneamente no espaço tridimensional. Neste exemplo, percebem-se arestas selecionadas em vermelho que são manipuladas como forma de acessar e modificar as posições da imagem na superfície do objeto. As linhas horizontais em vermelho no espaço euclidiano correspondem às arestas selecionadas do espaço paramétrico. Isso significa que somente aquela área da superfície que está selecionada pode ser movida.

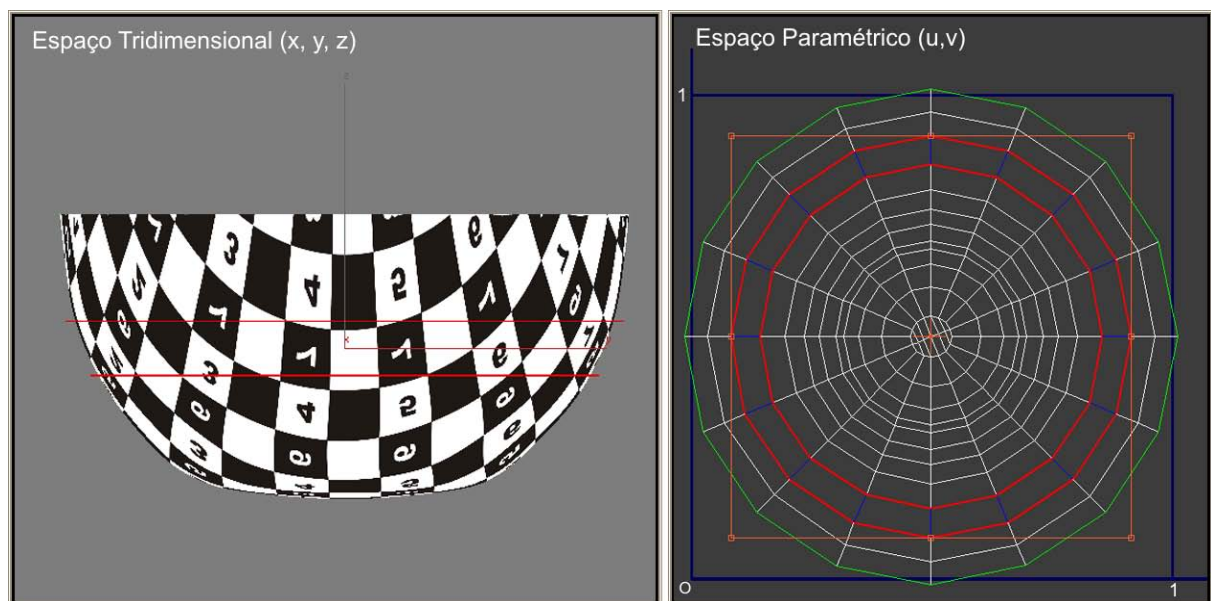


Figura 82: Manipulação de arestas

Fonte: a autora

A partir da definição do mapa 1, passa-se para a segunda etapa do método, que consiste na construção do mapa 2.

Para que se consiga visualizar o quanto de distorção ocorre em qualquer imagem, na tigela física, basta aplicar uma imagem qualquer no objeto virtual e especificar que ela deve ser mapeada na superfície do objeto virtual conforme as indicações do mapa 1, isto é, o mapa que simula a situação real de impressão do produto na fábrica. Na Figura 84, pode-se verificar como a imagem apresentada na Figura 83 se comportaria na tigela física caso fosse impressa.

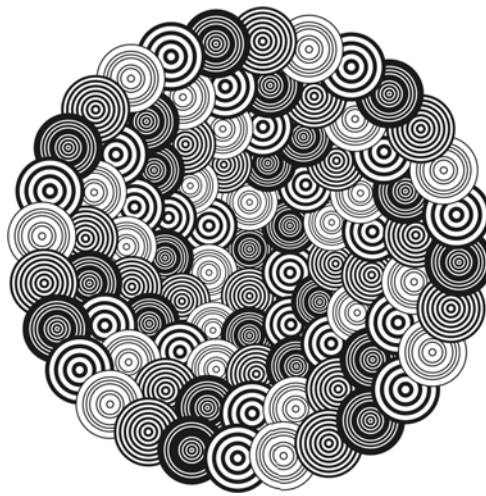


Figura 83 : Imagem bidimensional

Fonte: a autora

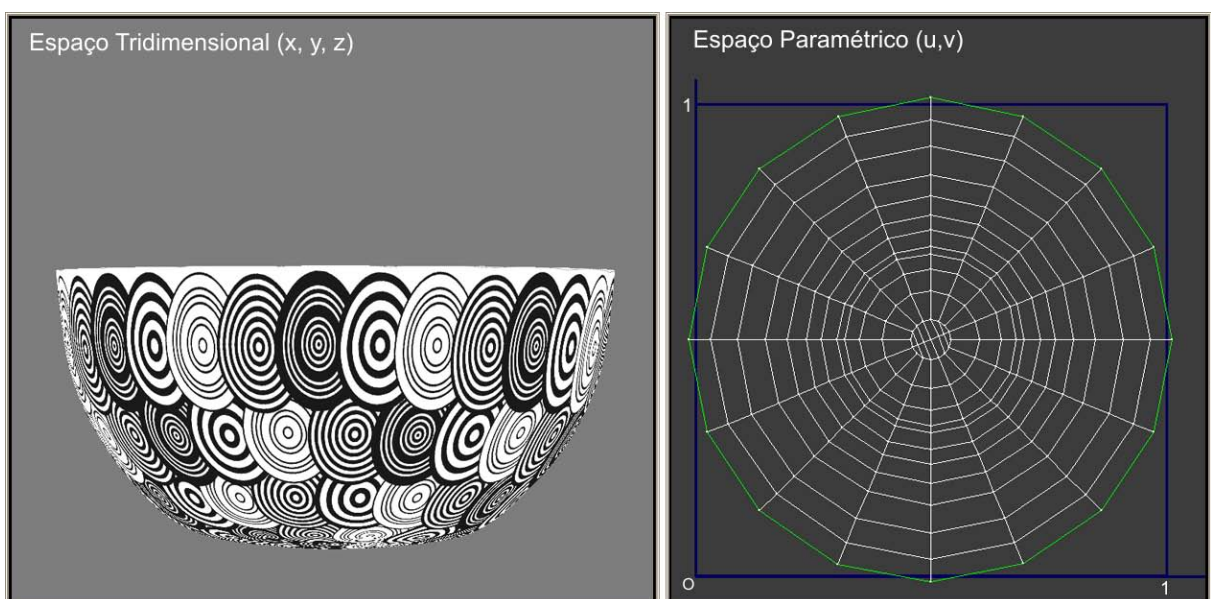


Figura 84: Aplicação da imagem bidimensional no objeto conforme o mapa 1

Fonte: a autora

Neste momento, quando já se sabe como a imagem se comporta na prática, o passo seguinte é alterar essa realidade para o que se espera desse tratamento de superfície. No projeto da tigela, optou-se por gerar o mapa 2 a partir do mapa 1, pois as distorções não são exageradas. No entanto, a alteração não é realizada em cima do mapa 1, mas sim a partir dele. Por isso, salva-se o mapa 1, que será reutilizado na terceira etapa do método, e gera-se o mapa 2 a partir do mapa 1.

Com o mapa 2 acionado, iniciam-se as alterações de modo que as distorções que podem ser visualizadas na Figura 84 possam ser minimizadas ou até mesmo eliminadas. O processo de modificação do mapa, nessa situação, é semelhante às alterações realizadas para se construir o mapa 1.

Com as devidas intervenções, espera-se que a imagem seja disposta na superfície do objeto próxima ao que se apresenta na Figura 85. Neste momento, quando se decide que o projeto de superfície está de acordo com o esperado, define-se também o mapa 2.

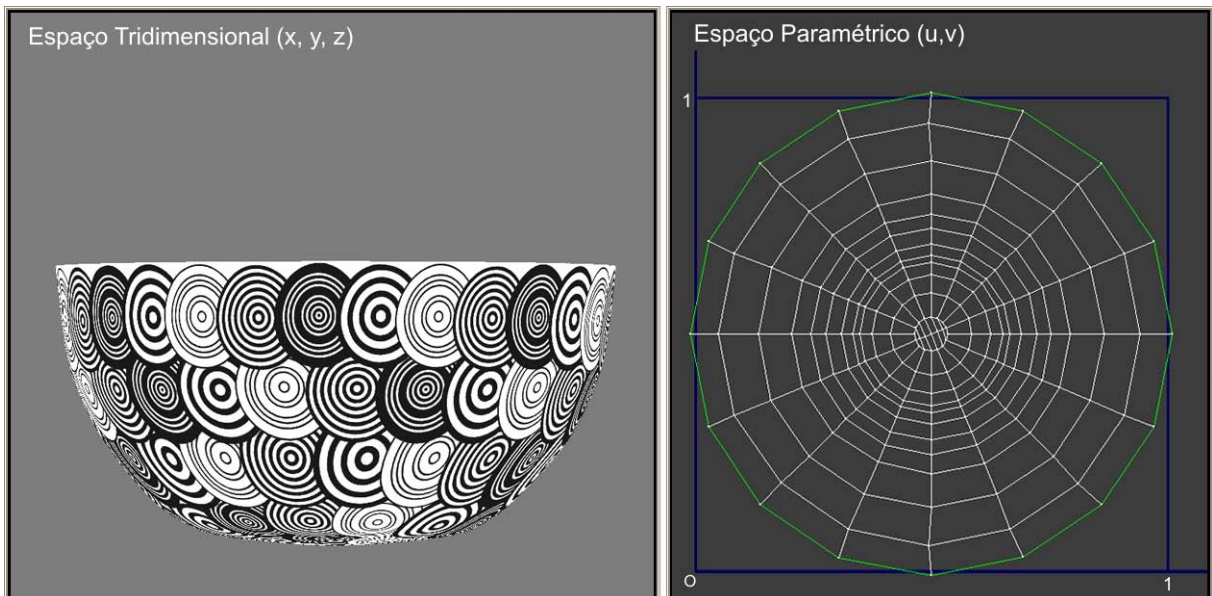


Figura 85: Aplicação da imagem bidimensional no objeto conforme o mapa 2

Fonte: a autora

Na Figura 86, tem-se o mapa 1 (linhas brancas) em sobreposição ao mapa 2 (linhas vermelhas), para que se possa perceber a diferença entre os dois.



Figura 86: Comparação entre os mapas 1 e 2

Fonte: a autora

A partir dessas definições, mapa 1 e mapa 2, dá-se início à terceira etapa do método, ou seja, a construção da “imagem 2D distorcida” que contém em sua composição visual as distorções necessárias à compensação.

Para tanto, como já foi visto na descrição da etapa 3 (Figura 73), recorre-se à ferramenta *render to texture* que possibilita planificar a imagem aplicada na superfície da tigela no espaço euclidiano e distribuí-la no plano com distorções específicas.

Para que isso ocorra, é necessário que a imagem bidimensional (Figura 87 - a), seja aplicada à superfície da tigela no espaço tridimensional e distribuída conforme o mapa 2 (Figura 87- b e c).

Após, acessa-se a ferramenta *render to texture* e ativa-se a função de planificação da imagem disposta na superfície da tigela no espaço euclidiano, porém define-se que ela no plano deve distribuir-se conforme as indicações do mapa 1 (Figura 87 - d), e não do mapa 2 (Figura 87 - c), dando-se a correspondência entre os dois mapas.

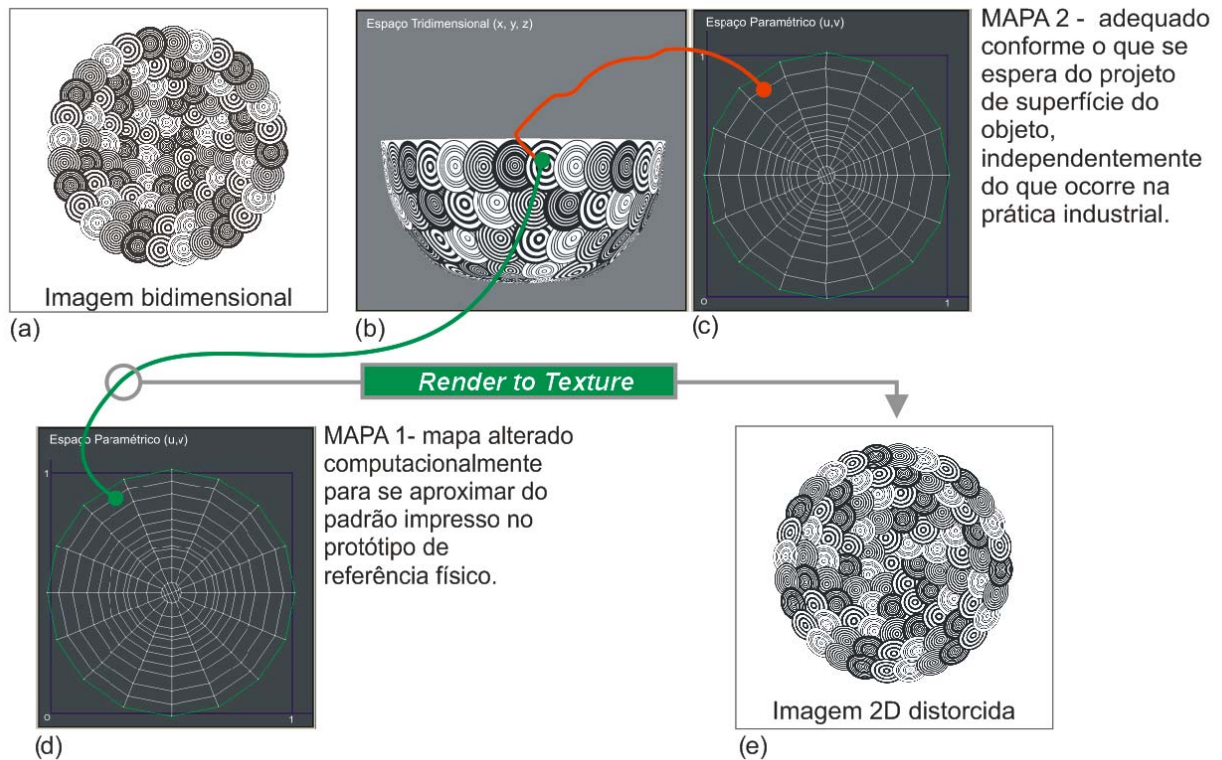


Figura 87: Utilização do recurso computacional *render to texture*

Fonte: a autora.

Assim, perceber-se que primeiro a imagem bidimensional é aplicada na superfície da tigela no espaço euclidiano conforme o mapa 2, que define a distribuição dessa imagem sobre a tigela. Essa correspondência está representada pela linha vermelha (Figura 87- b e c). Num segundo momento, ativa-se a ferramenta *render to texture* e a imagem aplicada na superfície da tigela no espaço euclidiano é planificada e distribuída no plano conforme o mapa 1. Essa correspondência está representada pela linha verde (Figura 87 - b e d). Em ambas as correspondências, para cada ponto (x, y, z) da imagem aplicada na superfície da tigela no espaço tridimensional, existe uma correspondência de pontos (u, v), ora no mapa 2, ora no mapa 1.

Quando a imagem aplicada na superfície da tigela no espaço euclidiano é planificada e distribuída conforme o mapa 1, está gerando-se a “imagem 2D distorcida” desejada (Figura 87- e).

Ao final da etapa 3, verifica-se a eficácia do método ainda no meio computacional, ou seja, aplica-se a “imagem 2D distorcida” (Figura 88) na superfície da tigela no espaço tridimensional, de modo que a mesma seja distribuída na superfície de acordo com o mapa 1.

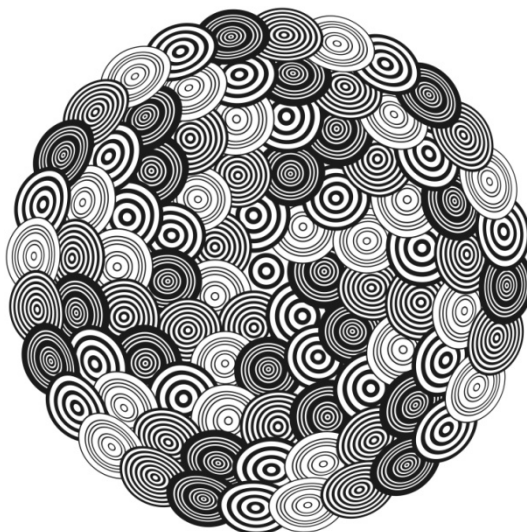


Figura 88: Imagem 2D distorcida

Fonte: a autora

Se a imagem estiver sem as distorções, o método foi eficaz. Essa verificação está representada na Figura 89.

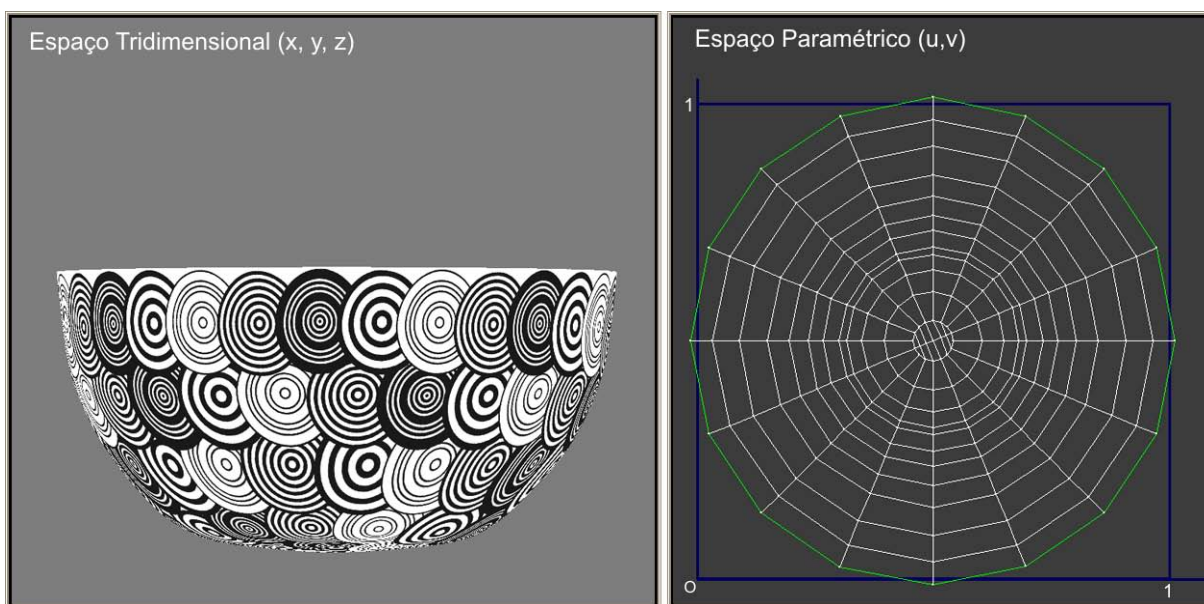


Figura 89: Verificação computacional do método - “imagem 2D distorcida” aplicada na superfície do objeto tridimensional, conforme mapa 1

Fonte: a autora.

Com a verificação computacional concluída, parte-se para a verificação do método proposto na prática industrial. No caso desta pesquisa, disponibilizaram-se os arquivos para a Oxford®, onde foram realizados dois testes, ou seja, com o método e sem o método. O resultado pode ser conferido nas Figuras 90 e 91.



Figura 90: Protótipo sem a aplicação do método de controle de distorção

Fonte: Imagem da autora, protótipo produzido pela Oxford® para esta pesquisa



Figura 91: Protótipo com a aplicação do método de controle de distorção

Fonte: Imagem da autora, protótipo produzido pela Oxford® para esta pesquisa

4.4.2 Estudo de Caso 2 - Chaleira de Metal

Assim como no projeto da tigela, no da chaleira também se produziu um protótipo de referência na unidade fabril, e também se desenvolveu uma imagem com coordenadas (x, y) em ordem crescente, configurando uma grade de indicação dos pontos da superfície da chaleira onde as distorções ocorrem. Na Figura 92 estão apresentadas a imagem bidimensional que deve ser aplicada na chaleira e a chaleira que deve receber a imagem.

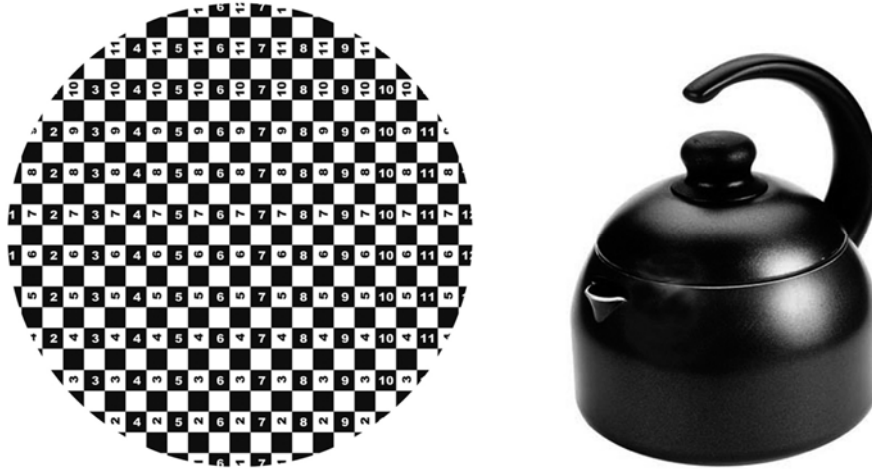


Figura 92: Imagem bidimensional desenvolvida para ser aplicada no protótipo de referência físico

Fonte: a autora

Na Figura 93, estão apresentados o disco metálico onde a imagem foi impressa através de processo serigráfico, conforme a seção 2.5.2, e o protótipo de referência físico produzido para dar-se início à aplicação do método de controle de distorção.



Figura 93: Protótipo de referência físico

Fonte: Produzido pela Tramontina® para esta pesquisa

Com o protótipo de referência físico disponível, passa-se para a modelagem do objeto virtual. Do mesmo modo e pelo mesmo motivo que no caso da tigela construiu-se uma modelagem simplificada, ou seja, com poucos polígonos, facilitando o tempo de processamento. No caso da chaleira, o arquivo que gera a matriz de conformação do metal foi utilizado como referência para a construção da malha tridimensional, facilitando o trabalho e também a precisão, o que torna o método estudado ainda mais controlado. Na Figura 94, pode-se observar a malha cedida pela Tramontina® , e na Figura 95, a malha simplificada gerada para a pesquisa do método.

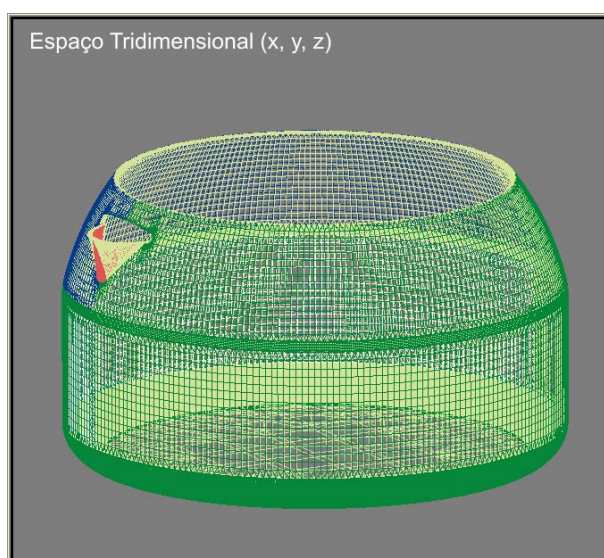


Figura 94: Modelagem com muitos polígonos

Fonte: Modelagem cedida pela Tramontina® para esta pesquisa

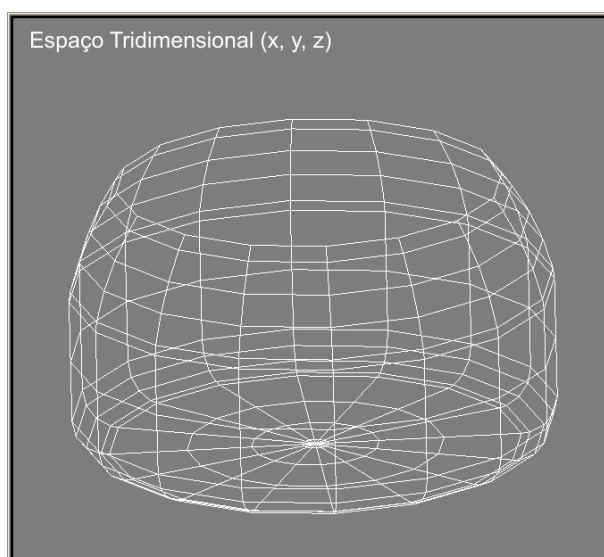


Figura 95: Modelagem simplificada da chaleira

Fonte: a autora

Na Figura 95, estão dispostas duas posições da chaleira que serão comumente apresentadas durante o estudo. Optou-se por fazer esse esclarecimento pois em algumas situações a figura estará confusa, e conhecendo como o objeto está posicionado no espaço fica mais nítida a percepção do mesmo.

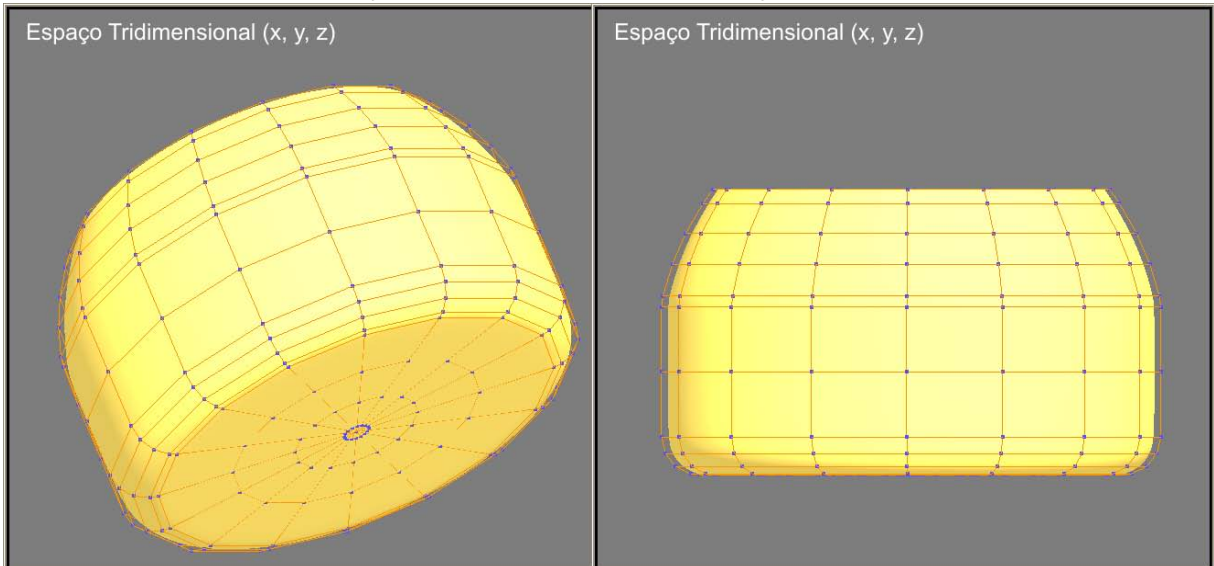


Figura 96: Simulação virtual

Fonte: a autora

Após a modelagem, o primeiro passo é aplicar a mesma imagem utilizada na produção do protótipo de referência física no objeto virtual. Nesse caso, verifica-se uma distorção significativa em relação ao protótipo de referência, como é observado na Figura 97.

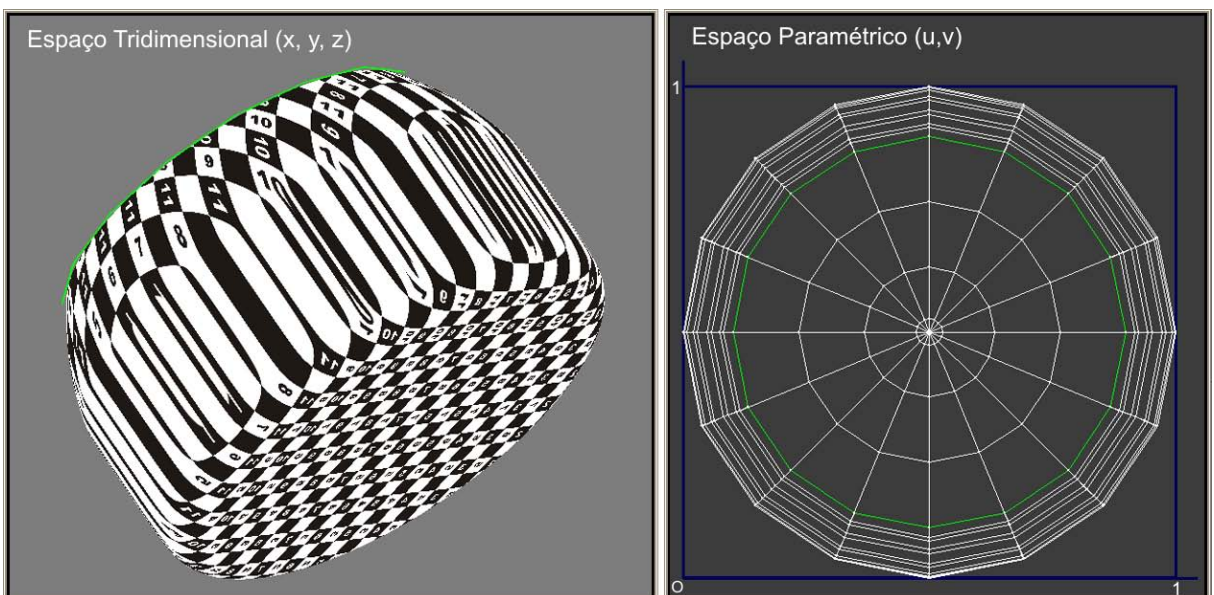


Figura 97: Aplicação da imagem bidimensional conforme o mapa original

Fonte: a autora

Deste modo, não é possível aproveitar-se o mapa naturalmente gerado pelos parâmetros da superfície do objeto. Isso significa que o mapa 1, isto é, aquele que simula a situação da prática industrial, deve ser construído a partir de uma função de projeção ou desembrulho automático. Possivelmente o mais indicado para esta geometria seria o desembrulho automático da malha no espaço paramétrico para gerar os valores de coordenadas da imagem (mapa de imagem). No entanto, esse recurso dificilmente conseguiria manter um mapa circular, que facilita o ajuste pelo seu formato simétrico, alterando várias arestas sincronicamente.

Para gerar os valores (u,v) do espaço paramétrico de modo que se tenha um mapa mais apropriado, no sentido de promover uma distribuição da imagem na superfície do objeto, semelhante visualmente à distribuição da imagem no protótipo de referência físico, optou-se, neste caso, por um outro recurso. Preferiu-se fazer uma planificação manual da malha geométrica do objeto no espaço euclidiano, e não no paramétrico como de costume. Na figura 98, é apresentada a sequência dessa planificação (a, b, c) numa vista frontal e (d) numa vista de perspectiva. O processo demonstra que se planificou a chaleira, tentando simular o que de fato ocorre no processo de produção de conformação do copo, conforme a seção 2.5.2.

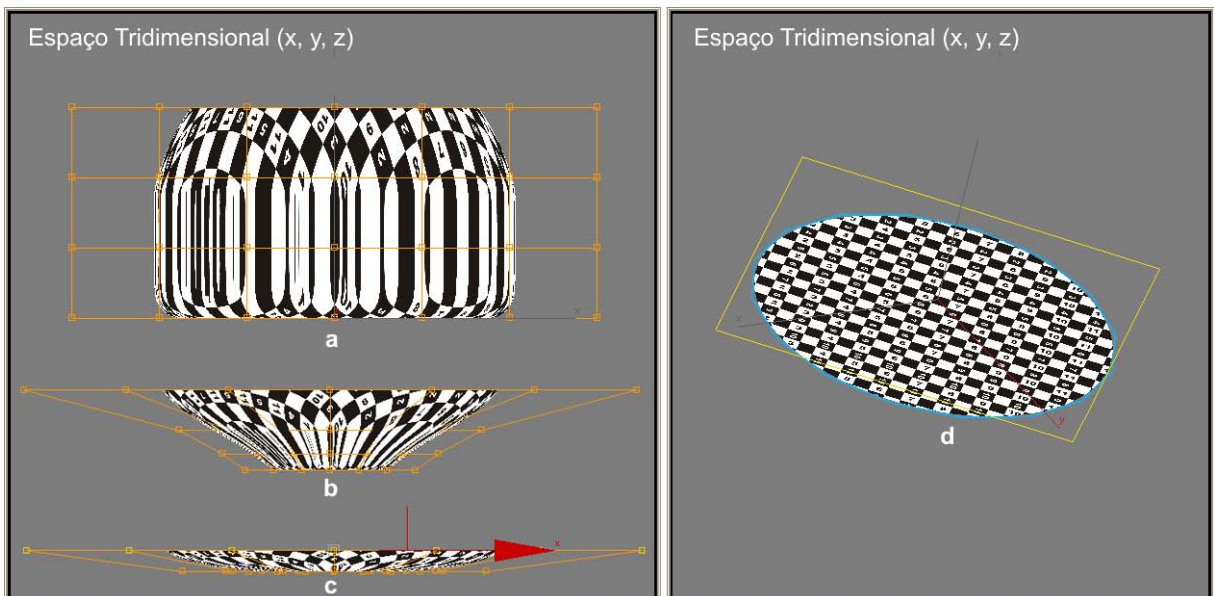


Figura 98: Planificação do modelo tridimensional no espaço euclidiano

Fonte: a autora

Após essa planificação do objeto no espaço tridimensional, aplica-se sobre o disco plano virtual uma função de projeção planar, conforme visto na seção 2.6.2, para gerar os valores desse disco no espaço paramétrico de coordenadas (u,v) .

Através da projeção, valores (u, v) foram obtidos e constituem o mapa representado no espaço paramétrico da Figura 99. Com o mapa gerado e salvo no espaço paramétrico, descarta-se o disco plano e retorna-se à chaleira tridimensional no espaço euclidiano.

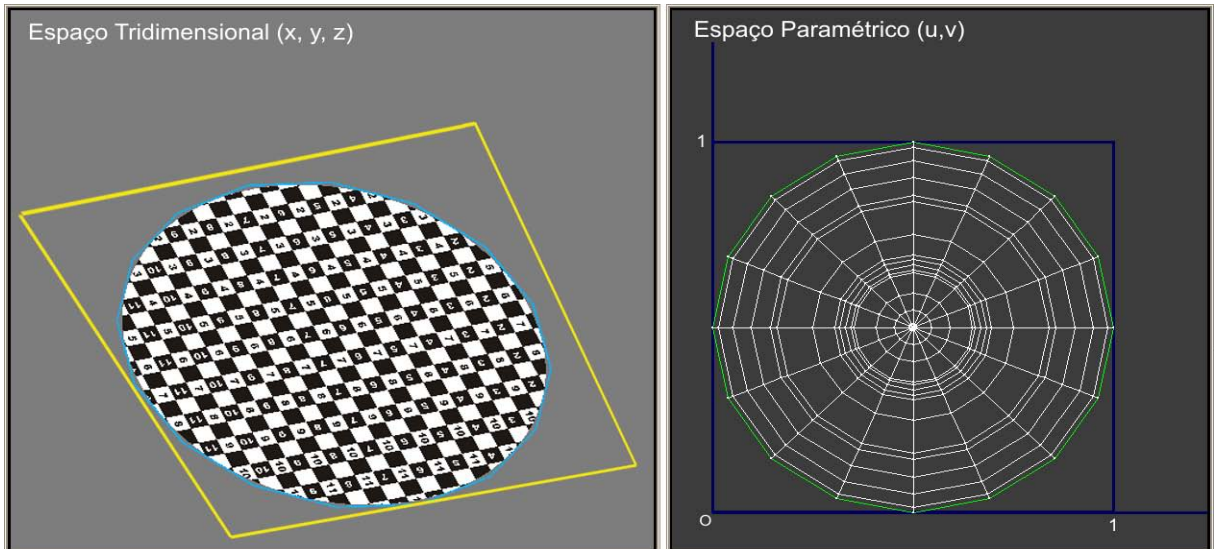


Figura 99: Projeção planar
Fonte: a autora

Com o mapa construído a partir da planificação da malha tridimensional no espaço euclidiano, a imagem fica disposta no objeto conforme a Figura 100, ou seja, sem a distorção anterior, mas ainda não semelhante o suficiente ao protótipo de referência físico.

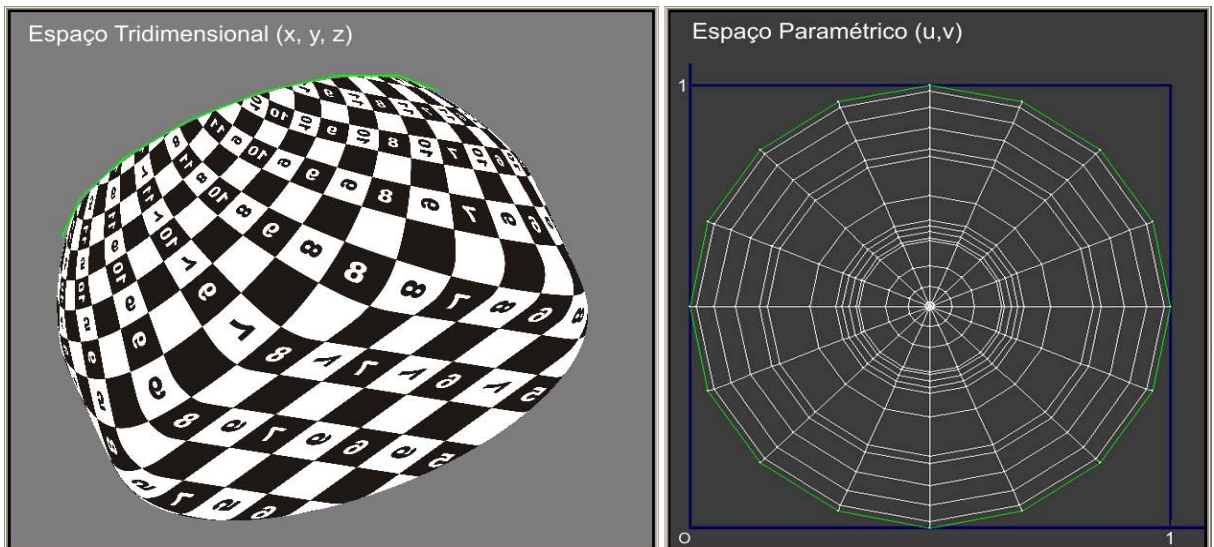


Figura 100: Distribuição da imagem bidimensional no objeto tridimensional conforme o mapa gerado a partir da projeção planar.

Fonte: a autora

Embora ainda sejam necessárias alterações para se alcançar o objetivo, que consiste em definir o mapa 1, essas modificações podem ser feitas de modo manual através dos vértices, arestas e faces, como no caso da tigela. Na Figura 101, tem-se o resultado final do mapa 1, alcançado conforme o sugerido acima.

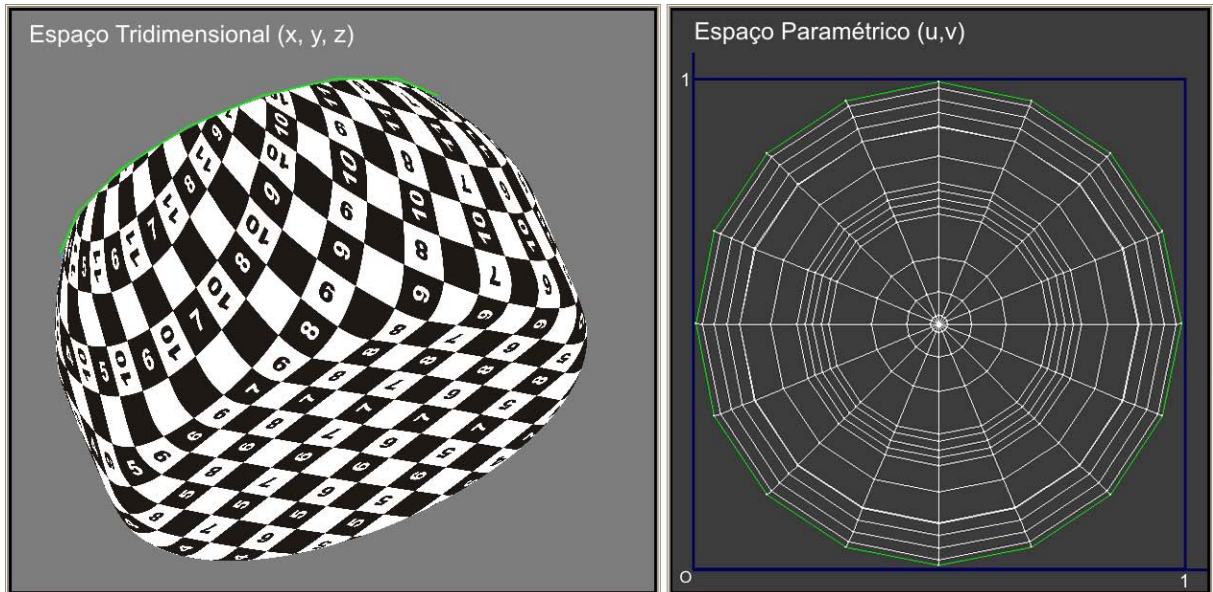


Figura 101: Distribuição da imagem bidimensional no objeto tridimensional conforme mapa 1
Fonte: a autora

Na Figura 102, têm-se os mapas um do lado do outro, desde o original até o definido como mapa 1. Nesta mesma figura, pode-se perceber a semelhança conseguida entre a disposição da imagem distribuída pelo mapa 1 e o protótipo de referência físico, objetivo dessa etapa do método.

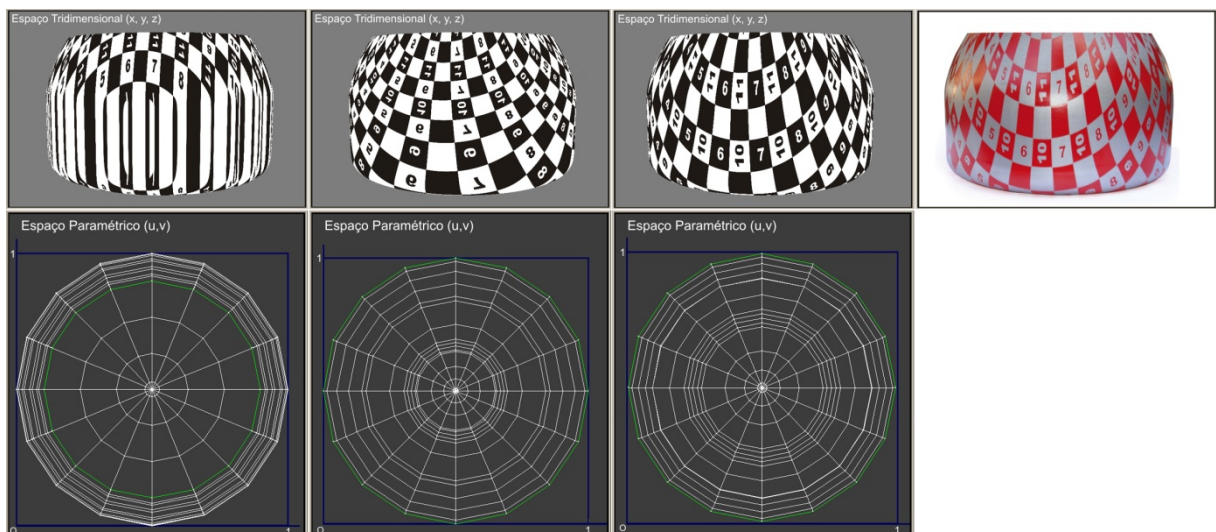


Figura 102: Comparação dos mapas
Fonte: a autora

Finalizada a primeira etapa do método na chaleira, passa-se para a segunda etapa, que consiste na construção do mapa 2, ou seja, como o designer deseja tratar a superfície da chaleira. No caso da tigela, o formato do mapa 1 era praticamente igual ao mapa 2, o que fez com que se utilizasse o mapa 1 como base da construção do mapa 2. No caso da chaleira, no entanto, tem-se os formatos dos mapas 1 e 2 completamente distintos, como será visto a seguir. Isso não atrapalha a etapa três do método, na qual se utiliza a relação entre os dois mapas.

Analisando a geometria da chaleira, concluiu-se que seria mais viável considerar o mapa como se fosse um rótulo em torno da lateral da chaleira do que uma imagem que partisse do centro do disco, isto é, do fundo da chaleira, como foi visto no processo de fabricação na seção 2.5.2. Chegou-se a essa conclusão pois o perfil da chaleira é um caso crítico de curvatura em relação ao plano. Na primeira conformação tem-se uma dobra de 90° e na segunda, aproximadamente, mais 30° . Isto, associado à altura da chaleira, provoca distorções significativas no desenho. Outra situação que fez com que se optasse pelo tratamento lateral da chaleira, foi o trabalho que o designer teria para projetar imagens radiais, que possuem uma complexidade maior de projeto ao compor os elementos visuais. Portanto, a imagem passa a funcionar como um módulo que se repete, no caso da chaleira, na horizontal. A Figura 103 apresenta a imagem padrão (módulo) utilizada no tratamento de superfície da chaleira nesta pesquisa.



Figura 103: Imagem bidimensional (módulo)

Fonte: a autora

O posicionamento de revestir a chaleira com uma imagem como se fosse um rótulo, gera a dúvida de como ficaria o fundo da chaleira. Uma das soluções seria iniciar o rótulo (no sentido vertical) ainda no fundo da chaleira, antes da curva, como pode ser visualizado na Figura 104, e depois construir-se o fundo da chaleira, que neste caso pode ser desenvolvido no plano, visto que a área não apresenta curvatura alguma.

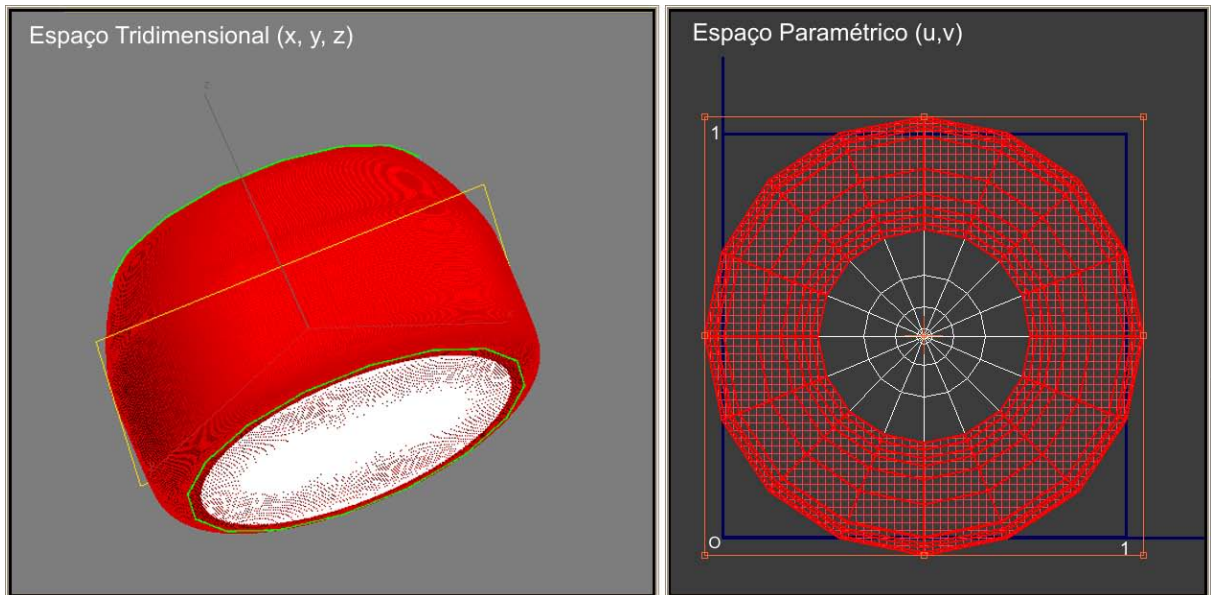


Figura 104: Seleção das faces

Fonte: a autora

A partir das posições acima tomadas, deu-se início à construção do mapa 2. Para isso, selecionou-se a área que se pretende revestir, como pode ser observado na Figura 104. Percebe-se que a seleção fica em vermelho nos dois espaços, demarcando a área selecionada e demonstrando a correspondência entre os dois espaços.

Nesse caso, para construir o mapa em formato de rótulo, desembrulhou-se a malha selecionada para gerar os pontos da superfície tridimensional do objeto em coordenadas (mapas) de imagem, no espaço paramétrico, como pode ser percebido na Figura 105. Observa-se, por exemplo, que o fundo foi deslocado para fora do espaço paramétrico, por isso não está revestido com a imagem no espaço euclidiano. Nesse caso, selecionou-se uma função de correspondência, vista na seção 2.6.2, que determina que a imagem no espaço paramétrico irá se repetir apenas no sentido horizontal, e não no vertical. Assim se entende por que o fundo da chaleira está cinza.

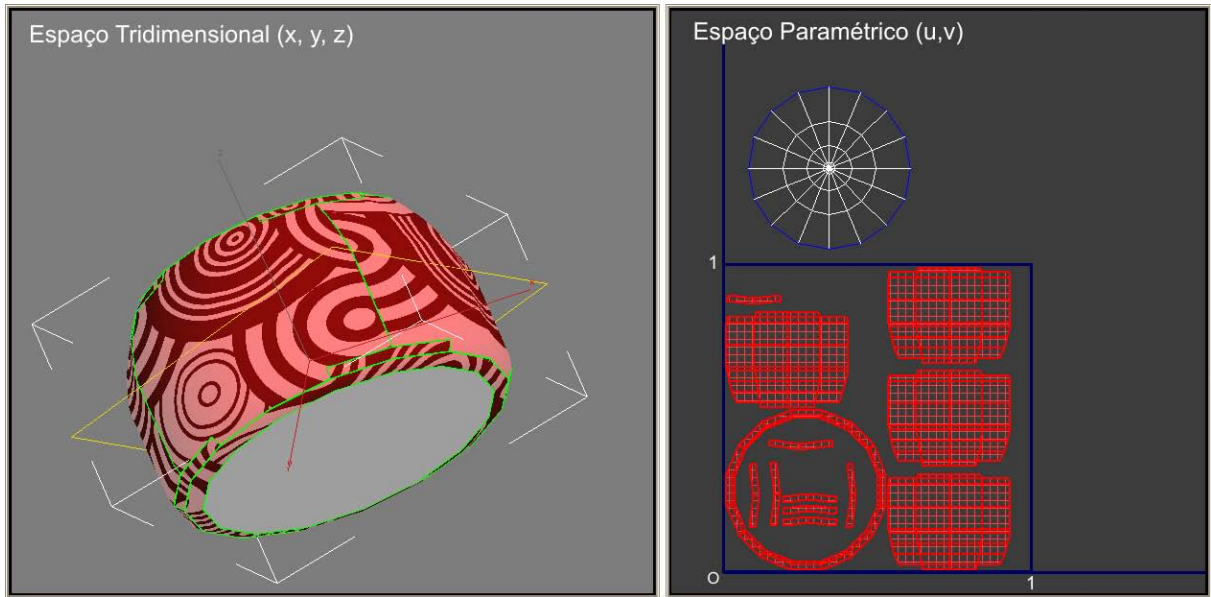


Figura 105: Desembrulho automático no espaço paramétrico

Fonte: a autora

A partir desse momento, passa-se a “costurar” o mapa no espaço paramétrico, como está apresentado na Figura 106, de modo que a imagem na superfície do objeto comece a ficar conforme o projeto. Tal mapeamento, ou seja, esse processo de construção do mapa 2 é uma das tarefas mais difíceis do método, pois depende de uma visão estratégica do designer em manipular as faces que constituem o mapa de modo a evitar o máximo possível as distorções da imagem.

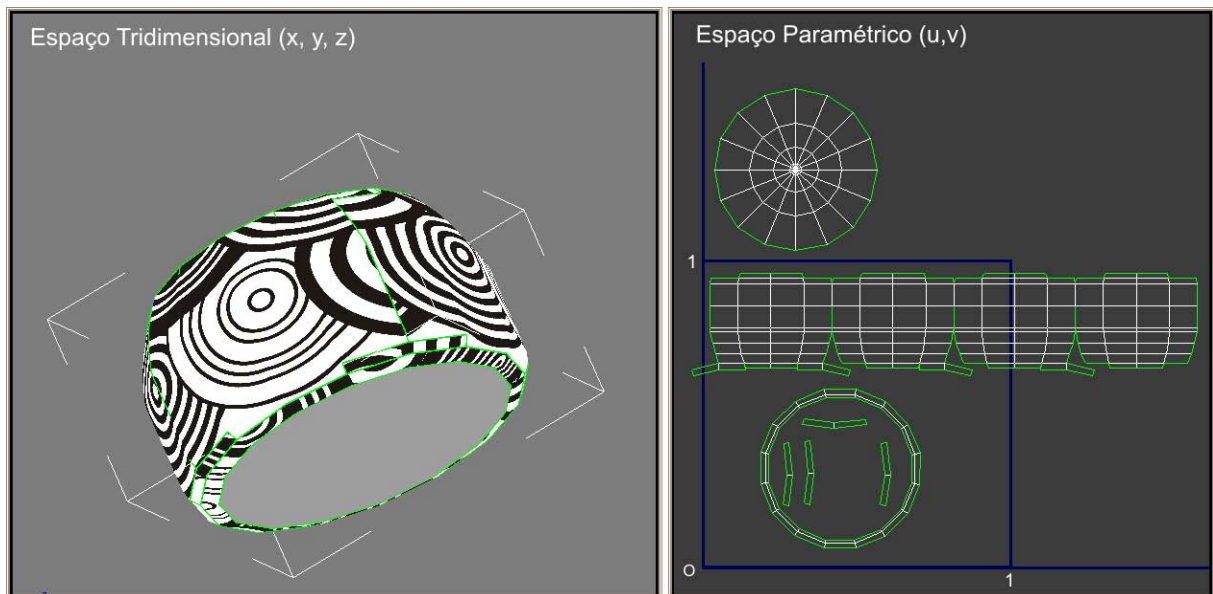


Figura 106: “Costura” do mapa no espaço paramétrico

Fonte: a autora

Na Figura 107, observam-se as arestas de fechamento, onde são feitos os encaixes, pontos de justaposição dos elementos visuais. Por isso a imagem padrão utilizada (módulo) precisa estar encaixando nas duas laterais uma em relação à outra, gerando uma continuidade do desenho. A posição e a escala do mapa de imagem em relação à área (1x1) do espaço paramétrico definirão como a imagem irá se repetir. Por exemplo, na Figura 107, o formato do mapa ocupa duas vezes o tamanho do espaço paramétrico, fazendo com que a imagem seja repetida sobre a superfície do objeto também por duas vezes.

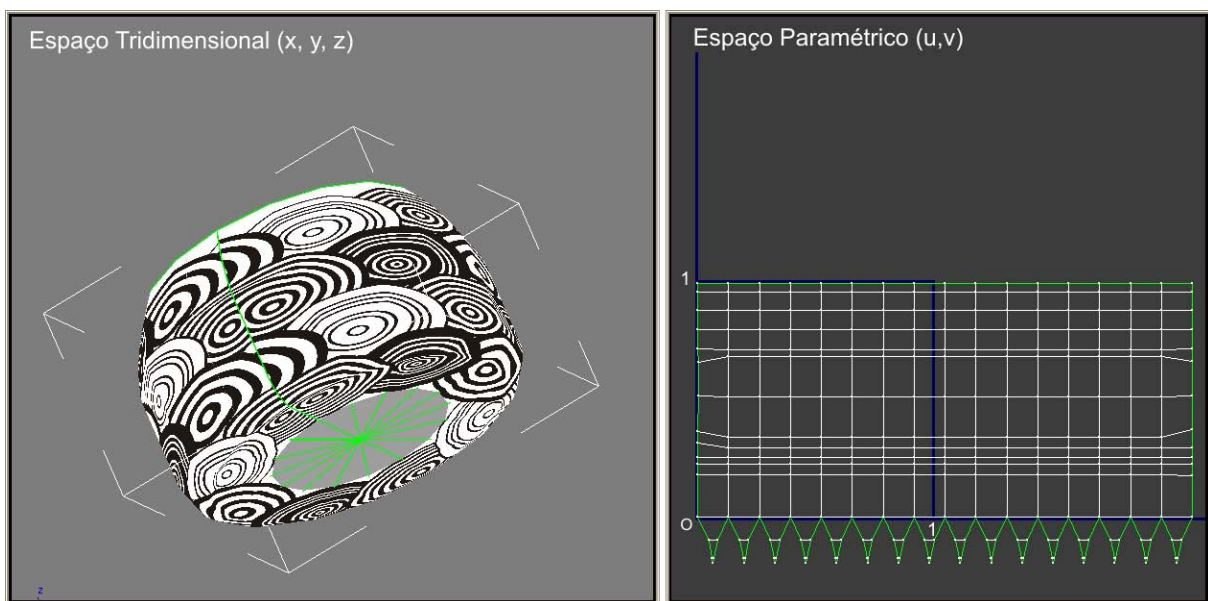


Figura 107: Desencaixe do desenho nas arestas de fechamento

Fonte: a autora

Na Figura 108, percebe-se que os encaixes das arestas de fechamento estão posicionadas corretamente, pois a imagem (módulo) se repete mantendo uma continuidade visual. Esse encaixe foi conseguido através da manipulação (deslocamento) das arestas de fechamento lateral do mapa de imagem no espaço paramétrico. Aqui, o mapa de imagem ocupa uma área três vezes a área (1x1) do espaço paramétrico. Isso faz com que a imagem seja repetida três vezes na lateral da chaleira; quanto maior for o mapa em relação à área (1x1) do espaço paramétrico, menores ficam os elementos da imagem aplicada sobre a superfície do objeto tridimensional.

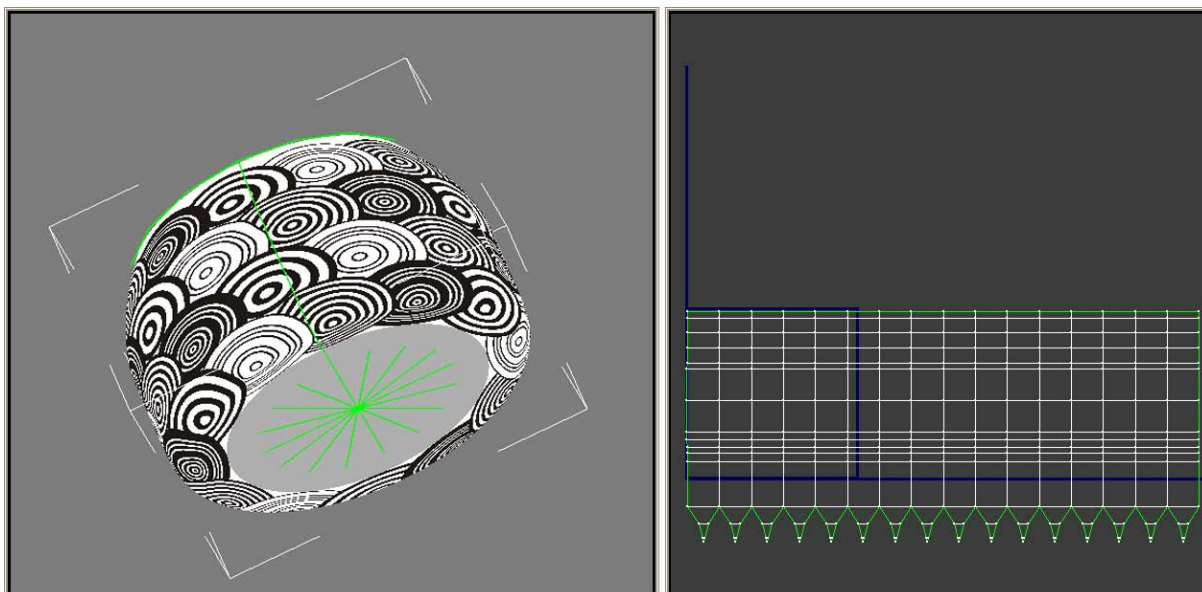


Figura 108: Repetição da imagem no espaço paramétrico

Fonte: a autora

Definido o mapa 2, passa-se para última etapa do método, em que novamente volta-se utilizar o mapa 1. Através da Figura 109, pode-se perceber a diferença do mapa 1 para o mapa 2. Isso não interfere no resultado da “imagem 2D distorcida”.

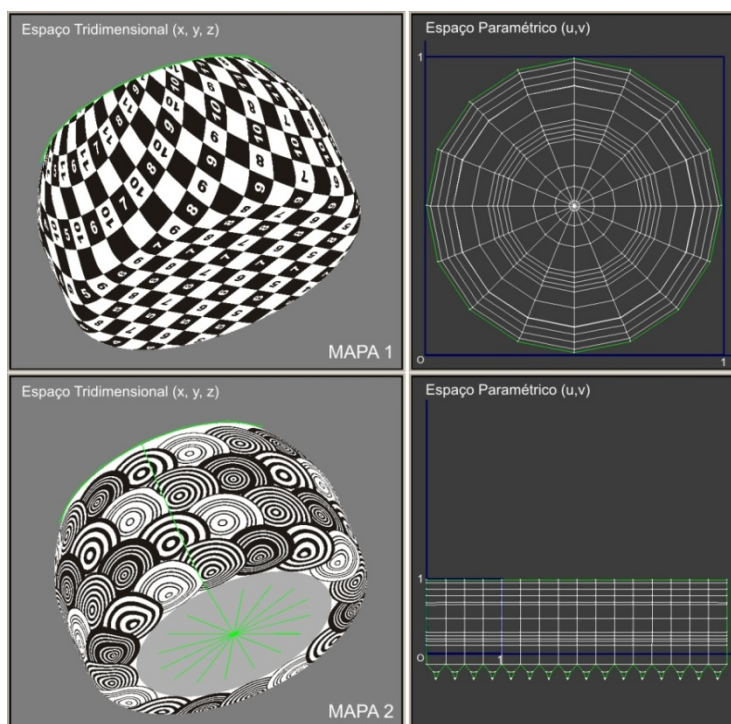


Figura 109: Comparação dos mapas 1 e 2

Fonte: a autora

Para que a “imagem 2D distorcida” seja gerada, novamente recorre-se à ferramenta *render to texture* para planificar a imagem aplicada na superfície da chaleira no espaço euclidiano e distribuí-la no plano com distorções específicas.

Para que isso ocorra, é necessário que a imagem bidimensional (Figura 110 - a) seja aplicada à superfície da chaleira no espaço tridimensional e distribuída conforme o mapa 2 (Figura 110 – b e c).

Após, acessa-se a ferramenta *render to texture* e ativa-se a função de planificação da imagem disposta na superfície da chaleira no espaço euclidiano definindo-se que ela no plano deve distribuir-se conforme as indicações do mapa 1 (Figura 110 - d), e não do mapa 2 (Figura 110 - c), dando-se a correspondência entre os dois mapas.

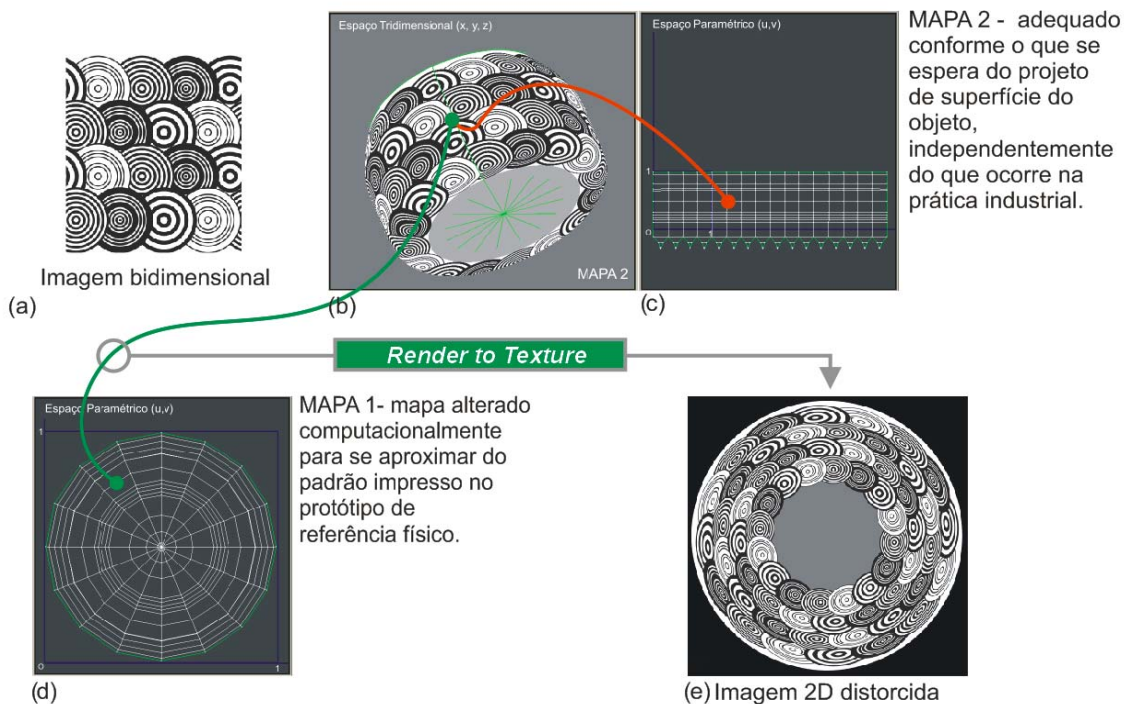


Figura 110: Utilização do recurso computacional *render to texture*

Fonte: a autora.

Como já foi colocado, o fato dos dois mapas terem formatos completamente distintos não impede que a correspondência entre os dois ocorra.

Primeiro ocorre a correspondência entre a imagem aplicada na superfície da chaleira no espaço euclidiano e o mapa 2, representada pela linha vermelha (Figura 110 - b e c). Depois ocorre a correspondência, promovida pela ferramenta *render to*

texture entre a imagem aplicada na superfície da chaleira no espaço euclidiano e o mapa 1, representada pela linha verde (Figura - b e d). Em ambas as correspondências, para cada ponto (x, y, z) da imagem aplicada na superfície da chaleira no espaço tridimensional, existe uma correspondência de pontos (u, v) , ora no mapa 2, ora no mapa 1.

Quando a imagem aplicada na superfície da chaleira no espaço euclidiano é, efetivamente, planificada e distribuída no plano conforme o mapa 1, está gerando-se a “imagem 2D distorcida” representada na Figura 111. O processo é interativo, ou seja, qualquer alteração no mapa 2, resulta imediatamente em alteração da imagem 2D distorcida.

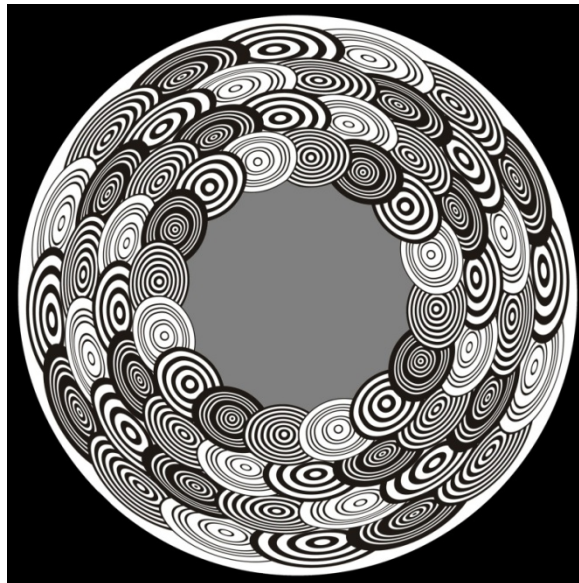


Figura 111: Imagem 2D distorcida
Fonte: a autora

Ao finalizar a etapa 3, verifica-se a eficácia do método no meio computacional, isto é, aplica-se a “imagem 2D distorcida” (Figura 111) na superfície da chaleira no espaço tridimensional, de modo que a mesma seja distribuída na superfície de acordo com o mapa 1. Se a imagem estiver sem as distorções, o método foi eficaz. A verificação está representada na Figura 112.

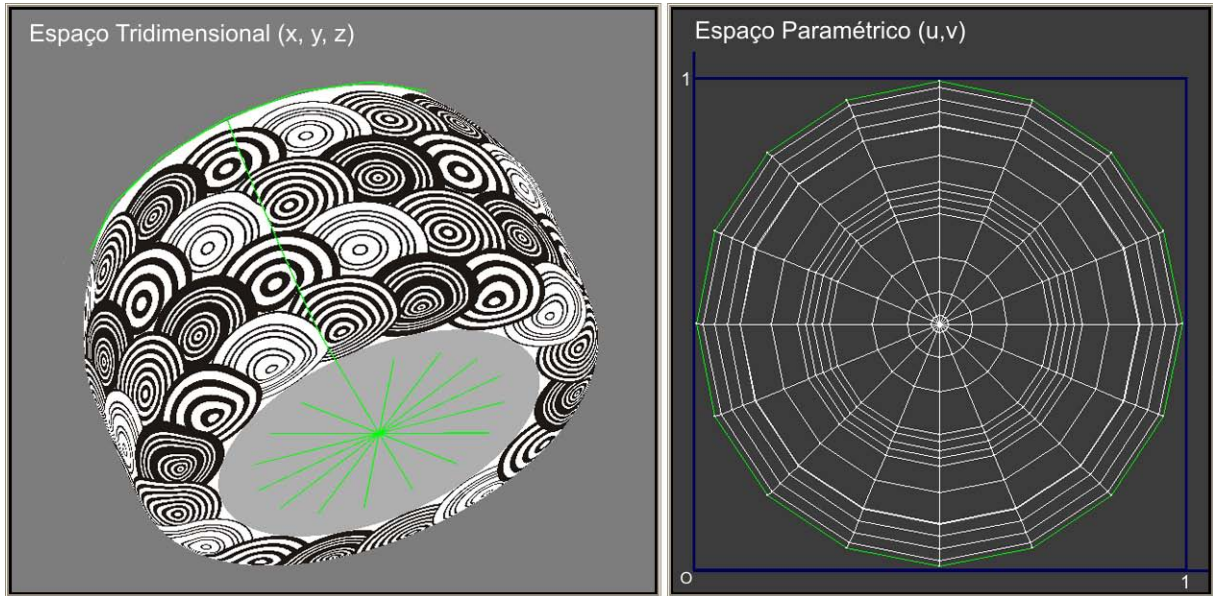


Figura 112: Verificação computacional do método - “imagem 2D distorcida” aplicada na superfície do objeto tridimensional, conforme mapa 1

Fonte: a autora.

Ao se construir o mapa 2 optou-se por revestir a chaleira com um módulo que se repetiria na horizontal. Isso fez com que a chaleira ficasse sem o fundo revestido. Por isso, para que a chaleira seja totalmente revestida, constrói-se o fundo da imagem (Figura 113 - b), no plano, em um software de edição de imagem vetorial, e após, exporta-se a imagem para o formato bitmap. Para que a escala dos elementos visuais da lateral da chaleira fiquem proporcionais aos elementos visuais do fundo, utiliza-se a “imagem 2D distorcida” (Figura 113 - a) como referência visual. Posteriormente, mescla-se em um software de edição de imagem bitmap, as duas partes desenvolvidas, Figuras 113 (a) e (b), constituindo a imagem final a ser aplicada na chaleira, representada na Figura 113 (c).

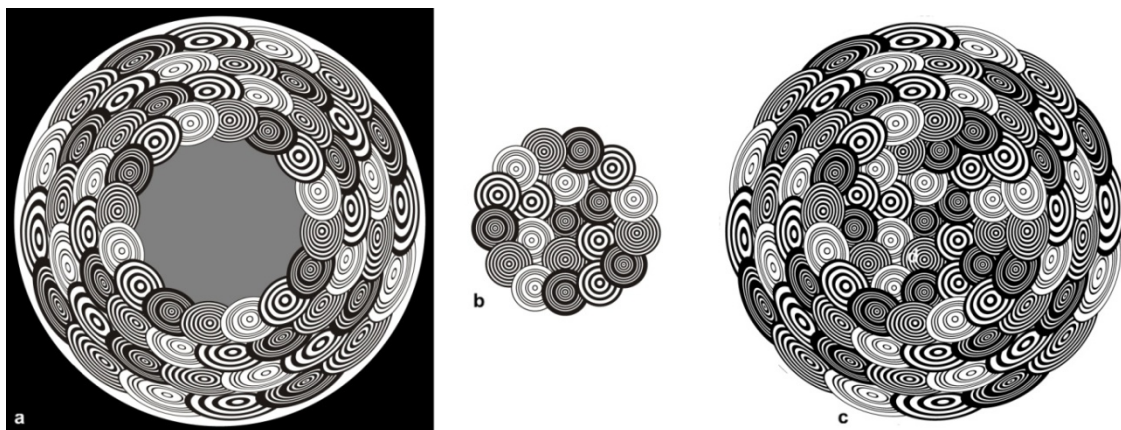


Figura 113: (a) imagem 2D distorcida; (b) fundo; (c) imagem 2D distorcida com fundo

Fonte: a autora

A seguir têm-se os protótipos executados na fábrica para a verificação do método na prática industrial. Nas Figuras 114 e 115 apresentam-se os protótipos finais, um acima do outro para verificar-se a diferença existente nos produtos sem e com a aplicação do método.



Figura 114: Protótipo sem a aplicação do método de controle de distorção
Fonte: Imagem da autora, protótipo produzido pela Tramontina® para esta pesquisa



Figura 115: Protótipo com a aplicação do método de controle de distorção
Fonte: Imagem da autora, protótipo produzido pela Tramontina® para esta pesquisa

4.4.3 Estudo de Caso 3 - Sandália de Polímero

O caso da sandália foi o mais complexo dos três produtos, pois se trata de um volume completamente assimétrico, com pontos críticos de curvatura.

No entanto, mesmo no caso da sandália, o método inicia com a produção do protótipo de referência físico, como o que está representado na Figura 117. No protótipo é impressa a imagem apresentada na Figura 116. No caso da sandália, a imagem bidimensional não é totalmente aplicada ao objeto, parte dela é aparada no processo de tratamento da superfície. Isso é detalhado na construção do mapa 1.



Figura 116: bidimensional desenvolvida para ser aplicada no protótipo de referência

Fonte: a autora



Figura 117: Protótipo de referência

Fonte: Produzido pela Grendene® para esta pesquisa

Através da produção do protótipo de referência físico (Figura 117) pode-se analisar os pontos críticos de distorção. A ponta frontal da sandália, por exemplo, é a área mais delicada em relação ao controle das distorções. Nota-se, por meio do protótipo de referência, que os quadros da imagem bidimensional que se posicionaram na lateral da sandália estão todos distorcidos, em dois pontos existe até sobreposição de película onde foi aplicada a imagem. Porém este tipo de variável não foi considerado neste estudo, pois demandaria tempo de pesquisa e outros testes de verificação.

Devido à complexidade da geometria da sandália, optou-se por escanear o produto num escâner tridimensional⁷ para obter a geometria exata do objeto, gerando uma modelagem precisa, como está apresentada na Figura 118. A partir do arquivo gerado pelo escâner tridimensional modelou-se uma malha mais simples, que está representada na Figura 119.

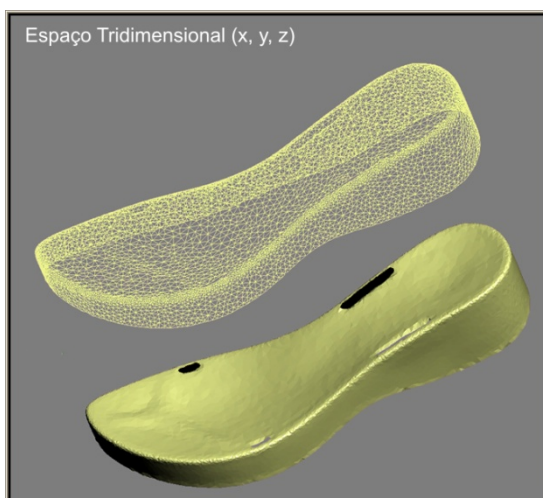


Figura 118: Modelagem escaneada
Fonte: LDSM

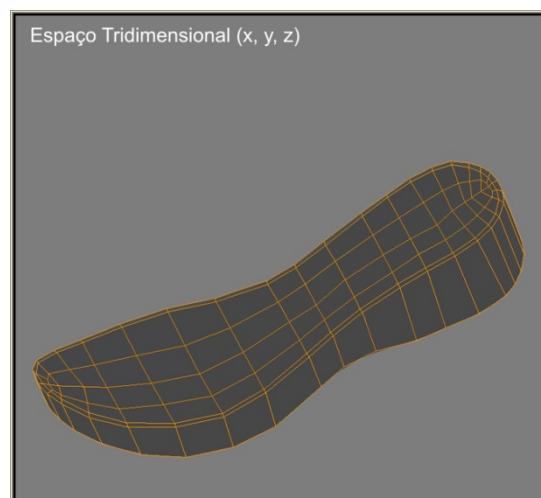


Figura 119: Modelagem da Sandália
Fonte: autora

Antes de aplicar a imagem no modelo virtual, necessitou-se definir, a partir do protótipo de referência, qual exatamente é a área de aparagem da imagem bidimensional, isto é, qual parte da imagem é descartada no processo de tratamento da superfície da sandália na unidade fabril apresentada na Figura 120. Essa definição otimizou a construção do mapa 1, pois definiu uma referência da extremidade inferior da sandália.

⁷ O escaneamento tridimensional foi executado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

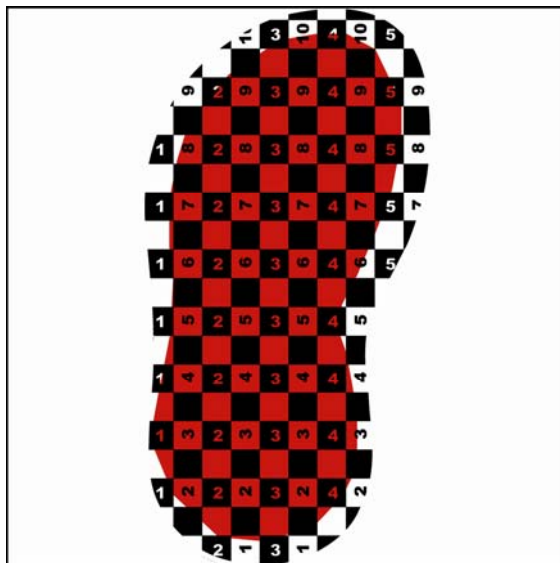


Figura 120: Área de aparagem da imagem bidimensional

Fonte: a autora

Na Figura 121, pode-se perceber como a imagem ficou distribuída conforme o mapa natural gerado pela superfície paramétrica do objeto. A imagem está totalmente distorcida, o que indica que possivelmente não se possa aproveitar o mapa existente. É neste momento que o designer mostra sua habilidade e qualificação em relação à complexidade geométrica do objeto, de modo a gerar um mapa que alcance os objetivos de cada etapa do método e que demande o menor tempo possível de trabalho.

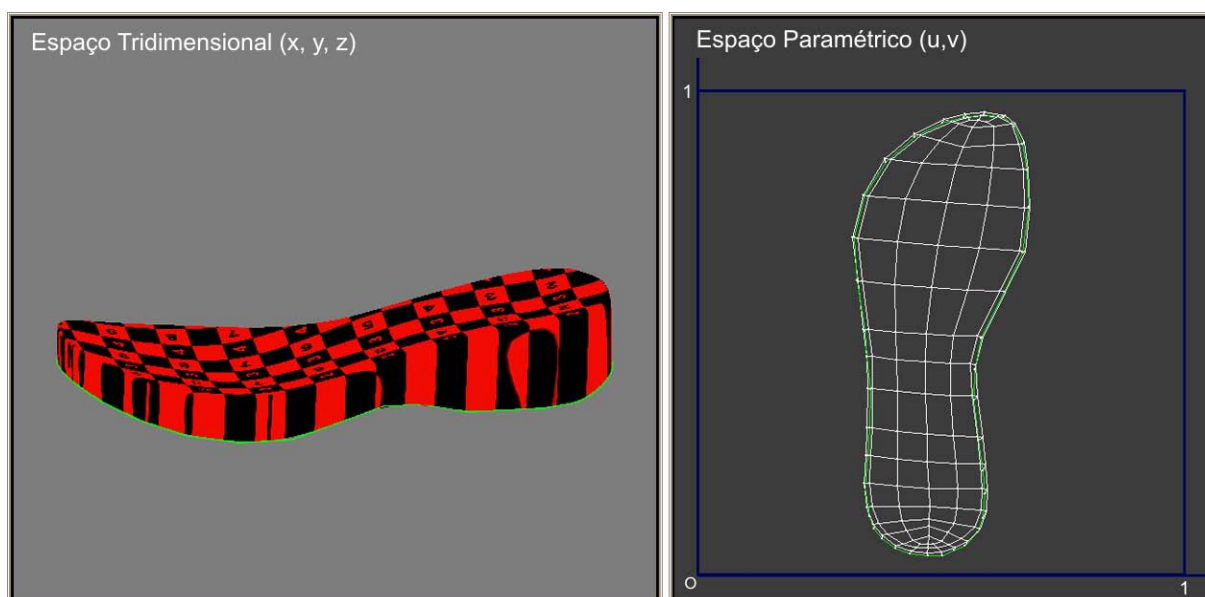


Figura 121 : Aplicação da imagem bidimensional conforme o mapa original

Fonte: a autora

Ao analisar-se a geometria da sandália, decidiu-se separar a superfície lateral do objeto da superfície de topo. Para isso, é necessário selecionar as faces laterais, representadas em vermelho na Figura 122, no espaço paramétrico.

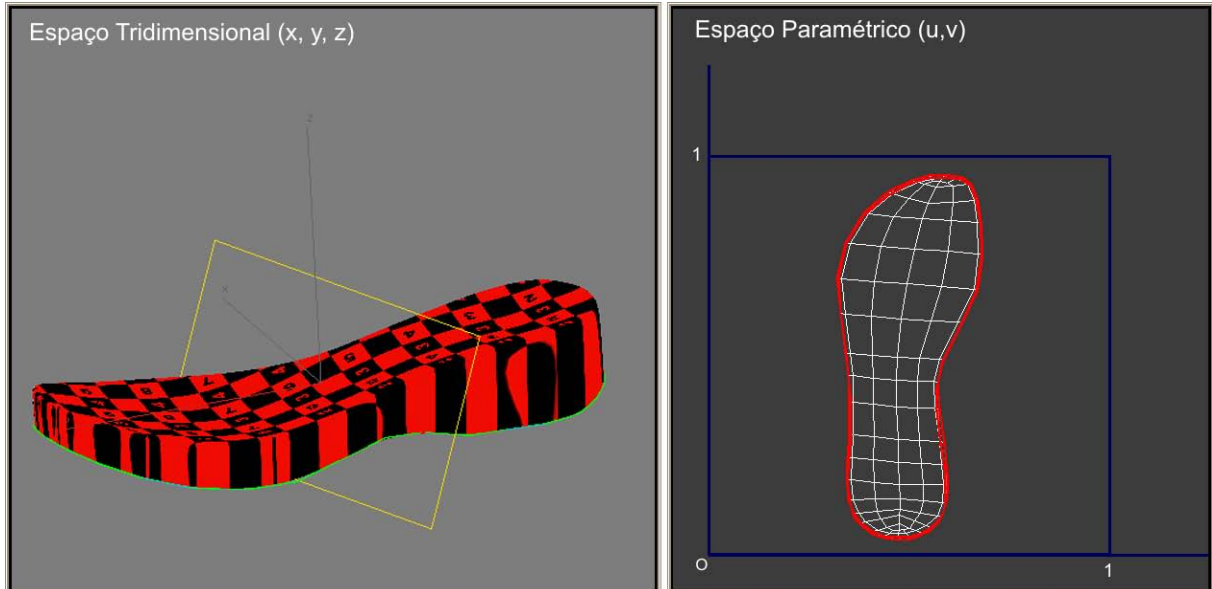


Figura 122: Seleção das faces

Fonte: a autora

Após a seleção separam-se as faces laterais das faces de topo, como está apresentado na Figura 123. As faces laterais são planificadas conforme se visualiza no espaço paramétrico.

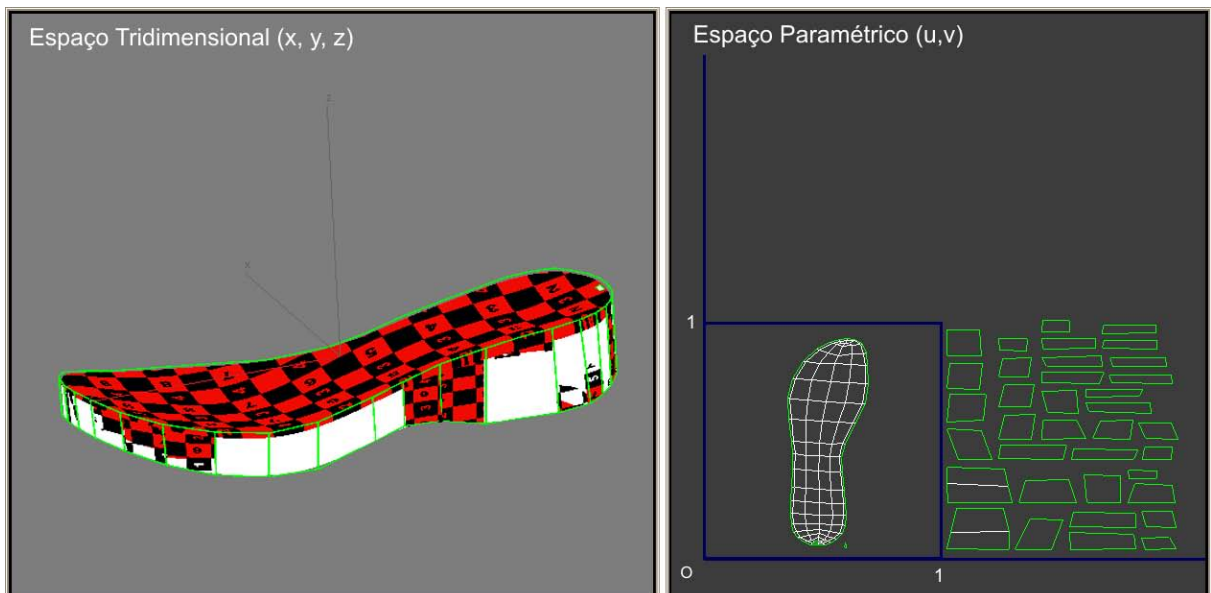


Figura 123: Desembrulho automático no espaço paramétrico

Fonte: a autora

Em seguida, aplica-se uma função de projeção planar sobre a superfície de topo da sandália. Se necessário, normalmente em programas de modelagem, tem-

se a opção de colocar fotos bidimensionais do protótipo de referência em ambos os espaços (tridimensional e paramétrico) para facilitar a comparação entre o modelo físico e o virtual.

Depois que a superfície de topo está ajustada, inicia-se a costura das laterais, como pode ser observado na Figura 124. Nota-se que, conforme o mapa vai se construindo no espaço paramétrico, a imagem começa a aparecer na superfície do objeto no espaço euclidiano.

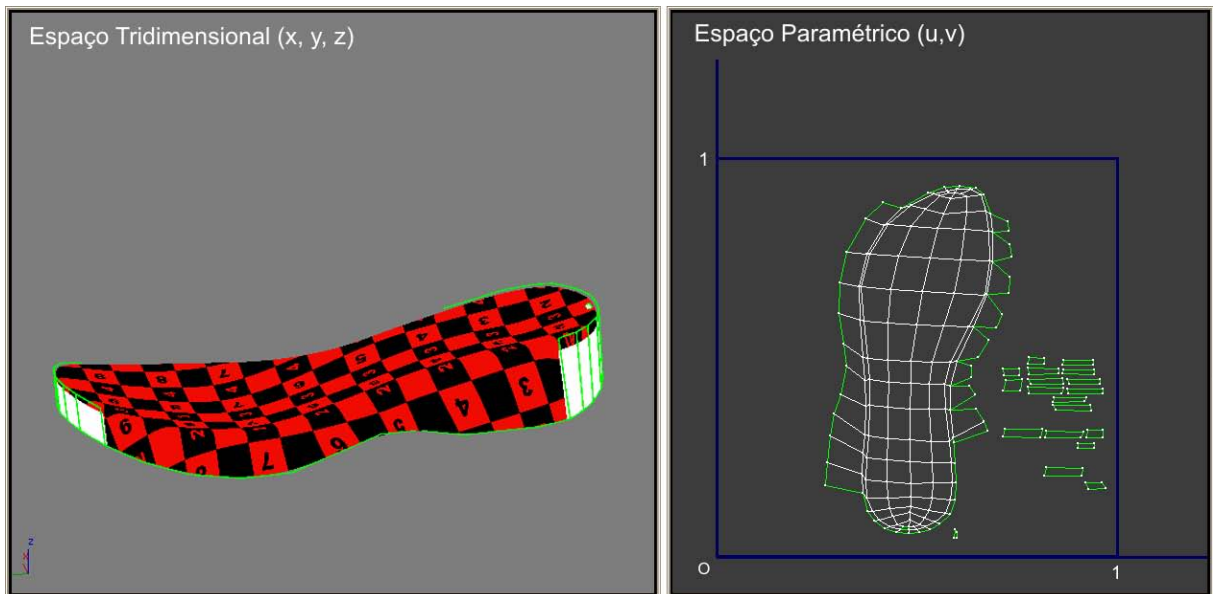


Figura 124: “Costura” do mapa no espaço paramétrico

Fonte: a autora

Após a costura total do mapa, através da manipulação de vértices, arestas e faces, faz-se os ajustes finais para que o mapa 1 fique semelhante ao protótipo de referência físico.

Na imagem 125 apresenta-se a diferença entre o mapa natural obtido através da superfície paramétrica do objeto e o mapa 1 construído para simular a realidade fabril do tratamento da superfície da sandália. Na mesma imagem, pode-se verificar a semelhança entre o protótipo de referência e o modelo virtual que distribui a imagem sobre a superfície do objeto conforme o mapa 1.

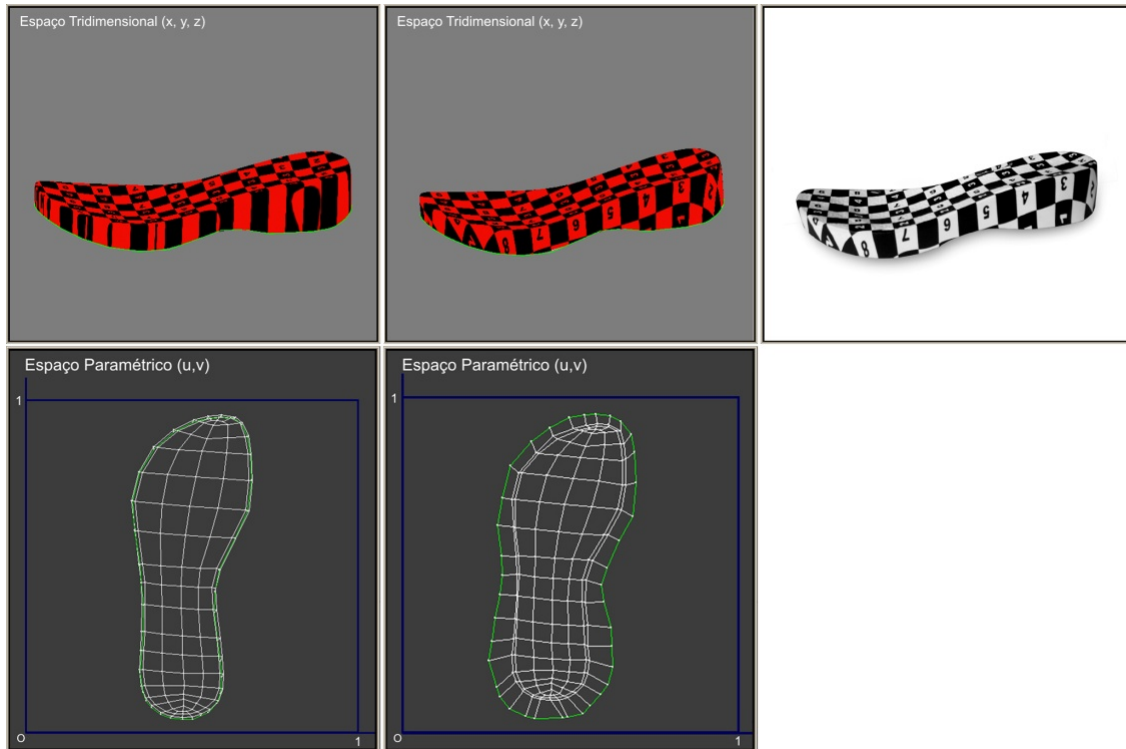


Figura 125: Comparação dos mapas

Fonte: a autora

Finalizada a etapa 1 do método, parte-se para a etapa 2, ou seja, para a construção do mapa 2. Neste momento, mais uma vez o posicionamento do designer é fundamental para o sucesso do projeto. Diante da complexa geometria da sandália optou-se por tratar sua superfície de modo similar ao da chaleira, ou seja, cuidar primeiramente das áreas mais afetadas, como as laterais, e depois finalizar o projeto no plano, preenchendo as áreas não consideradas no mapa. Assim sendo, optou-se por manter a imagem (módulo) utilizada na chaleira, porém em uma escala menor, apresentada na Figura 126, para que os círculos fossem percebidos claramente, já que a área de aplicação é reduzida.

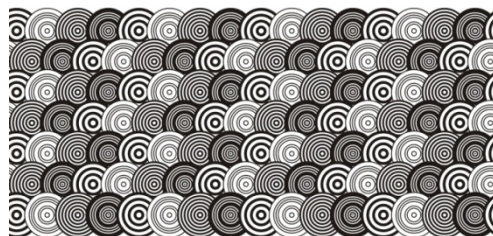


Figura 126: Imagem bidimensional (módulo)

Fonte: a autora

Com o mapa 1 construído e com a imagem (módulo) de aplicação preparada, direciona-se o trabalho para a construção do mapa 2. Novamente selecionam-se as faces da lateral. Porém no mapa 2, diferentemente do mapa 1, avança-se sobre a

superfície do topo para que as áreas críticas, ou seja, onde a imagem dobra, sejam contempladas no mapa, e não construídas após no plano, como pode ser observado na Figura 127 no espaço tridimensional.

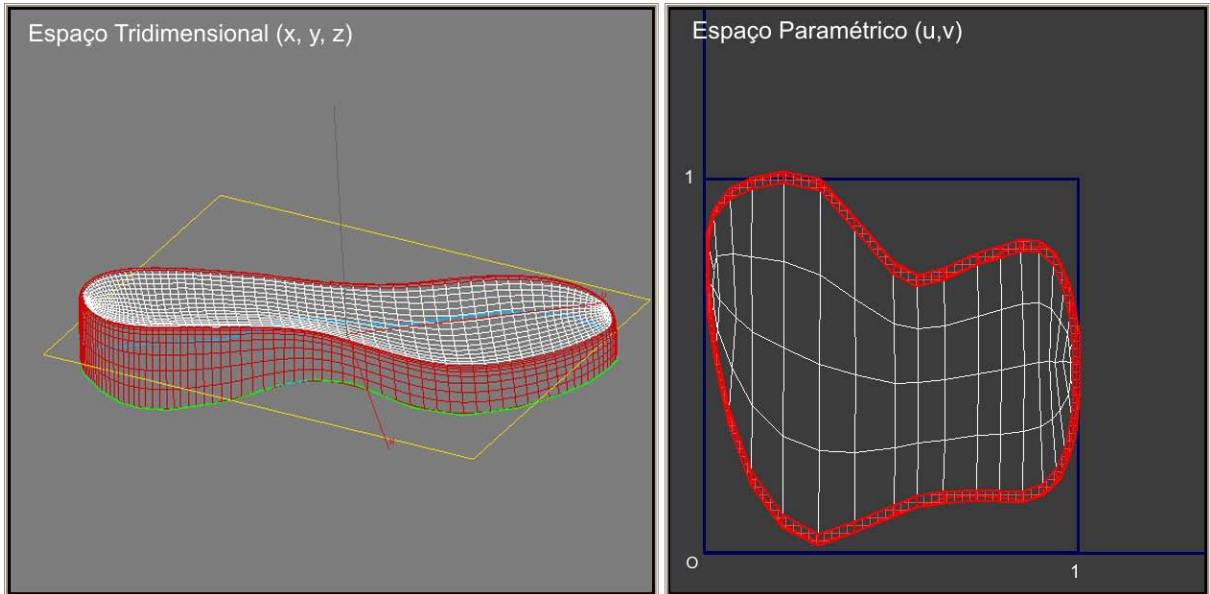


Figura 127: Seleção das faces
Fonte: a autora

Do mesmo modo que foi realizada a construção do mapa 1, planifica-se a superfície lateral da sandália para o mapa 2, como pode ser visualizado na Figura 128, e separam-se as faces laterais das faces do centro.

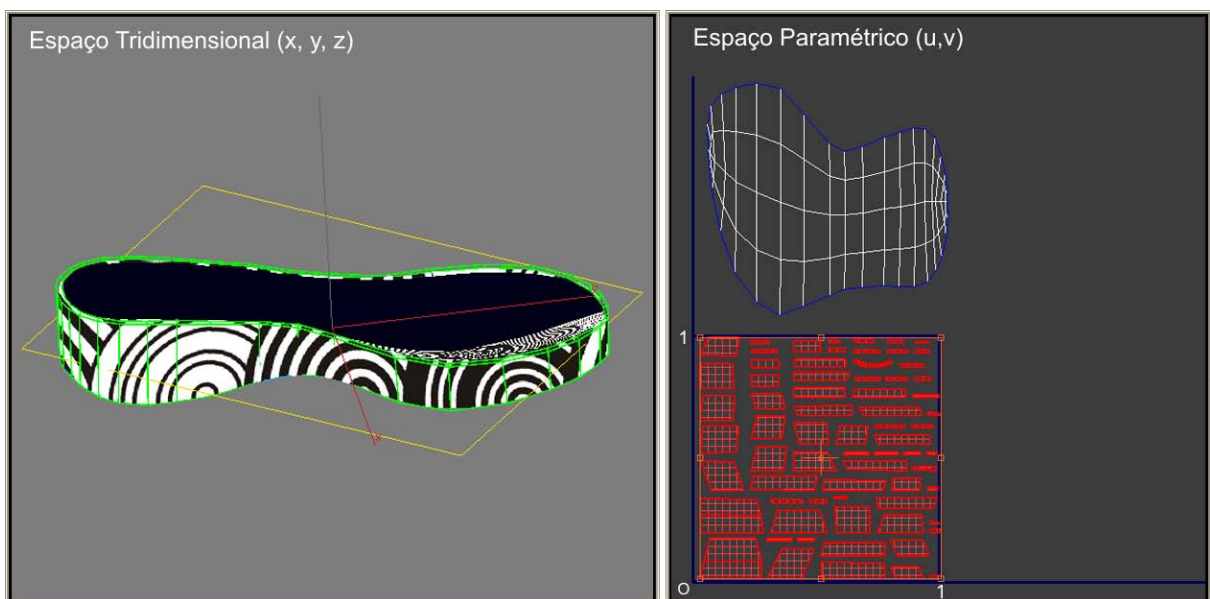


Figura 128: Desembrulho automático no espaço paramétrico
Fonte: a autora

Sabendo-se que a intenção é construir um mapa que disponha a imagem sobre a superfície de modo a envolver a lateral como um rótulo de embalagem, procurou-se constituir o mapa 2 num sentido horizontal, como pode ser observado na Figura 129, onde já se iniciou a costura do mesmo.

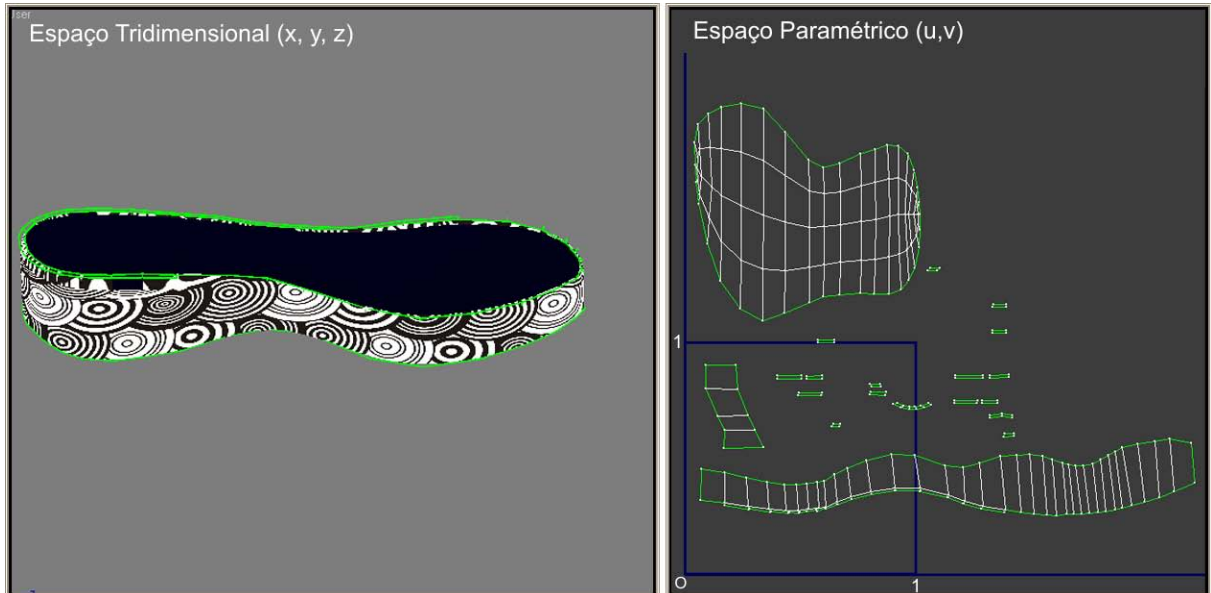


Figura 129: “Costura” do mapa no espaço paramétrico

Fonte: a autora

Depois de costurar-se toda a lateral da sandália, planificam-se também as faces do topo e costura-se em seguida, com a finalidade de unir todas as faces da superfície do objeto, como é apresentado na Figura 130.

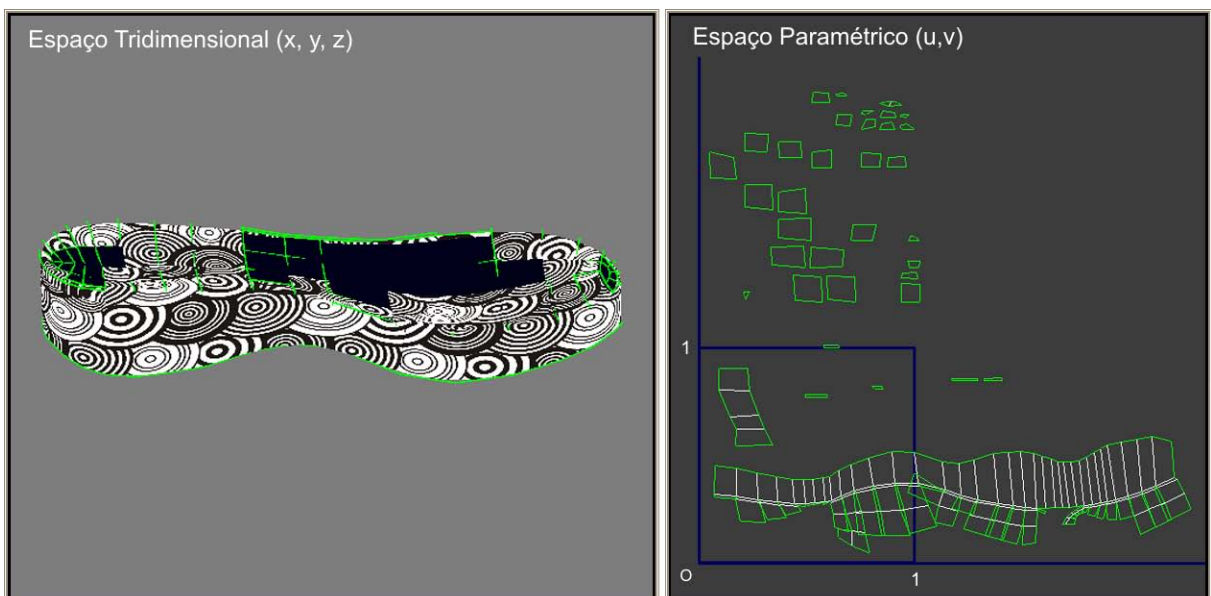


Figura 130: “Costura” do mapa no espaço paramétrico

Fonte: a autora

Com as faces do mapa 2 conectadas, passa-se para o momento de definir a escala dos elementos do módulo sobre a superfície do objeto, através da escala do mapa da imagem em relação à área (1x1) do espaço paramétrico. Nas Figuras 131 e 132 seguintes, é possível perceber com clareza essa variação. Na Figura 131, nota-se que os elementos estão graúdos, e que o mapa 2 está ocupando o espaço de duas repetições do espaço paramétrico da imagem. Na Figura 132, os elementos visuais diminuem, e o mapa aumenta mais uma repetição.

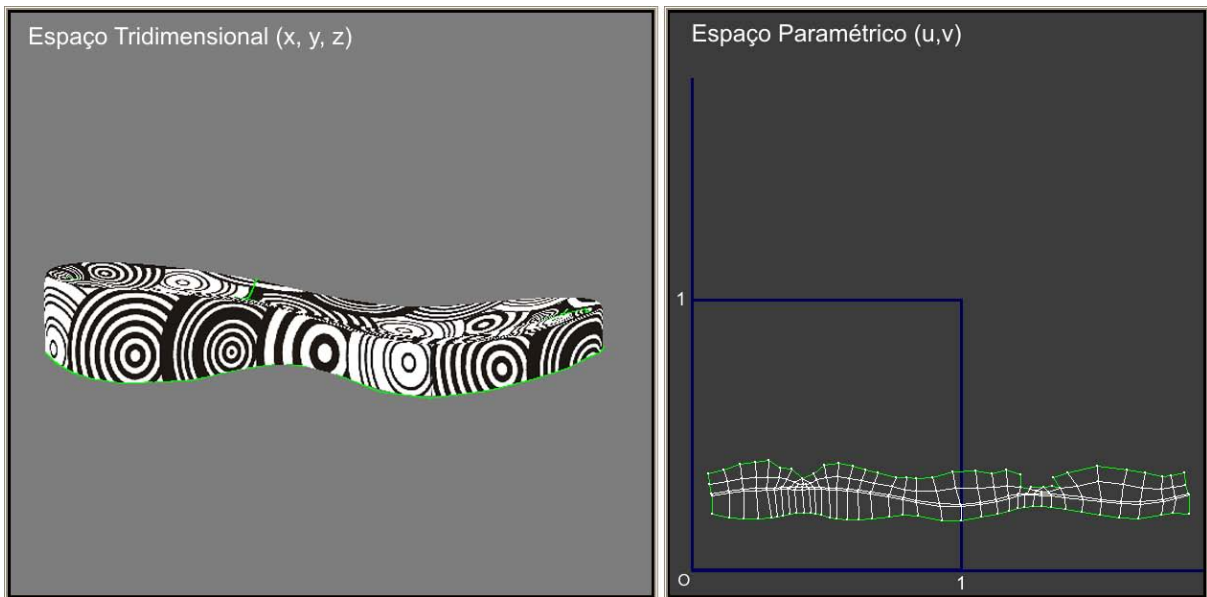


Figura 131: Repetição da imagem no espaço paramétrico

Fonte: a autora

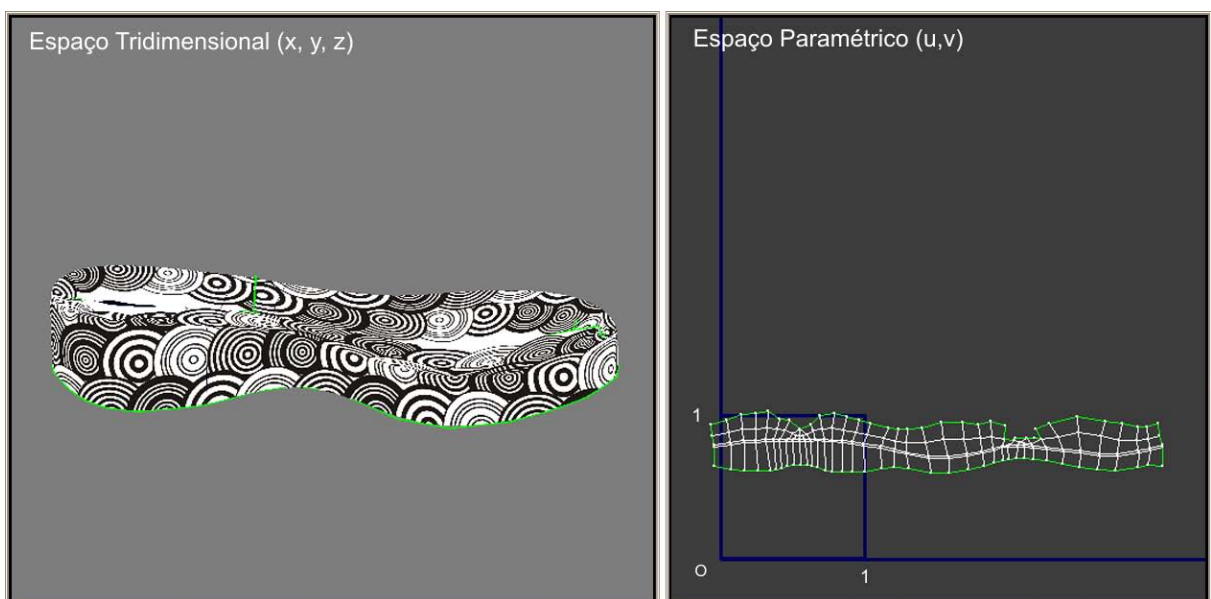


Figura 132: Repetição da imagem no espaço paramétrico

Fonte: a autora

Estabelecido o mapa 2, finaliza-se a segunda etapa e inicia-se a terceira etapa do método, que tem por finalidade gerar a “imagem 2D distorcida” que contém em sua composição visual as distorções necessárias à compensação.

Nesta etapa retoma-se o mapa 1, que pode ser verificado na Figura 133 junto ao mapa 2 finalizado. Repetindo a situação da chaleira, os mapas 1 e 2 da sandália também são completamente diferentes um em relação ao outro. Cabe ressaltar que o mapa 1 só funciona com a imagem no formato utilizado na produção do protótipo de referência. Já o mapa 2 funciona com a imagem quadrada (módulo), que se repete no sentido horizontal.

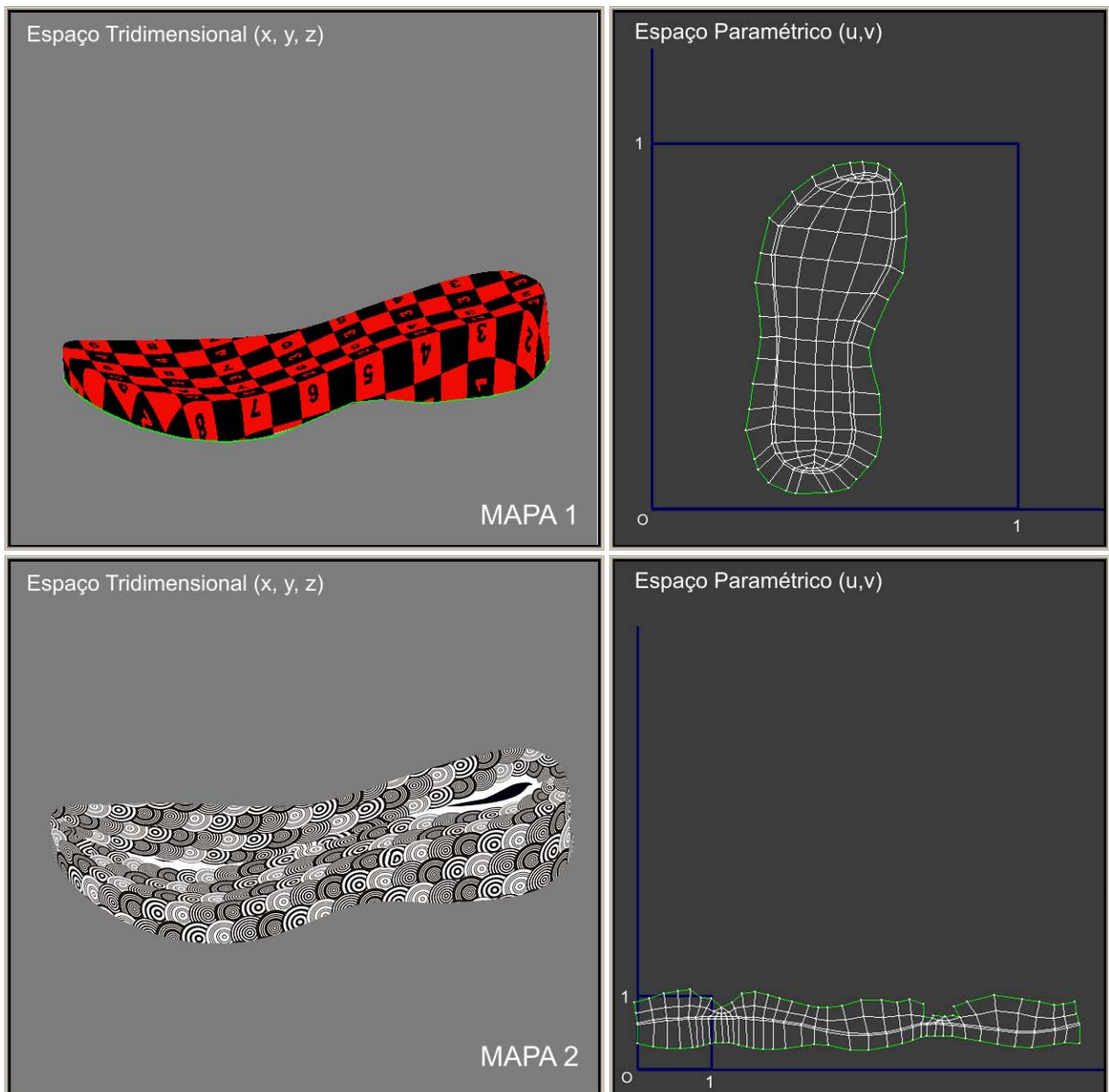


Figura 133: Comparação dos mapas 1 e 2

Fonte: a autora

Para construir-se a “imagem 2D distorcida, recorre-se, como no caso da tigela e da chaleira, à ferramenta *render to texture* que possibilita planificar a imagem aplicada na superfície da sandália no espaço euclidiano e distribuí-la no plano com distorções específicas.

Para que isso ocorra, é necessário que a imagem bidimensional (Figura 134 - a), seja aplicada à superfície da sandália no espaço tridimensional e distribuída conforme o mapa 2 (Figura 134 - b e c).

Após, acessa-se a ferramenta *render to texture* e ativa-se a função de planificação da imagem disposta na superfície da sandália no espaço euclidiano, porém define-se que ela no plano deve distribuir-se conforme as indicações do mapa 1 (Figura 134 - d), e não do mapa 2 (Figura 134 - c), dando-se a correspondência entre os dois mapas.

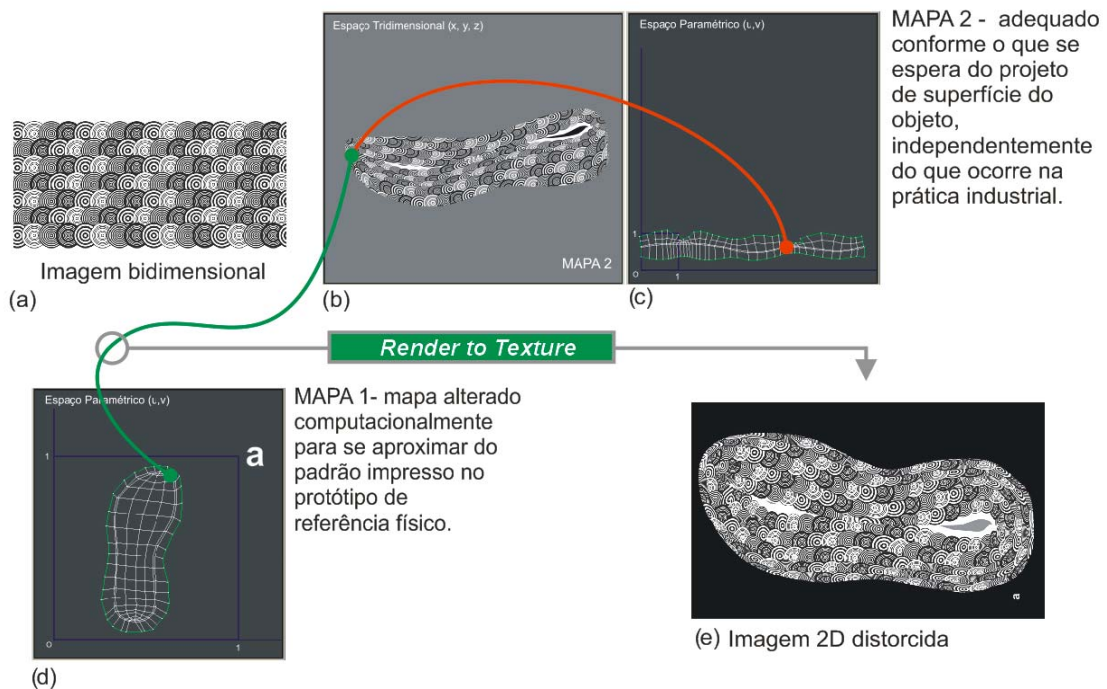


Figura 134: Utilização do recurso computacional *render to texture*

Fonte: a autora.

Assim, perceber-se que primeiro a imagem bidimensional é aplicada na superfície da sandália no espaço euclidiano conforme o mapa 2, que define a distribuição dessa imagem sobre a sandália. Essa correspondência está representada pela linha vermelha (Figura 134 - b e c). Num segundo momento, ativa-se a ferramenta *render to texture* e a imagem aplicada na superfície da sandália no espaço euclidiano é planificada e distribuída no plano conforme o mapa

1. Essa correspondência está representada pela linha verde (Figura 134 - b e d). Em ambas as correspondências, para cada ponto (x, y, z) da imagem aplicada na superfície da sandália no espaço tridimensional, existe uma correspondência de pontos (u, v) , ora no mapa 2, ora no mapa 1. Quando a imagem aplicada na superfície da sandália no espaço euclidiano é planificada e distribuída conforme o mapa 1, está gerando-se a “imagem 2D distorcida” desejada (Figura 134 - e).

Ao final da etapa 3, verifica-se a eficácia do método ainda no meio computacional, isto é, aplica-se a “imagem 2D distorcida” (Figura 135) na superfície da sandália no espaço tridimensional, de modo que a mesma seja distribuída na superfície de acordo com o mapa 1.

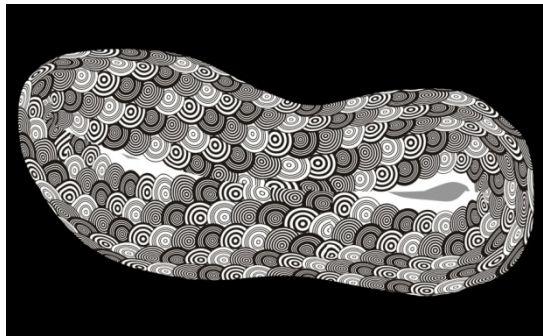


Figura 135: Imagem 2D distorcida
Fonte: a autora

Se a imagem estiver sem as distorções, o método foi eficaz. Essa verificação está representada na Figura 136.

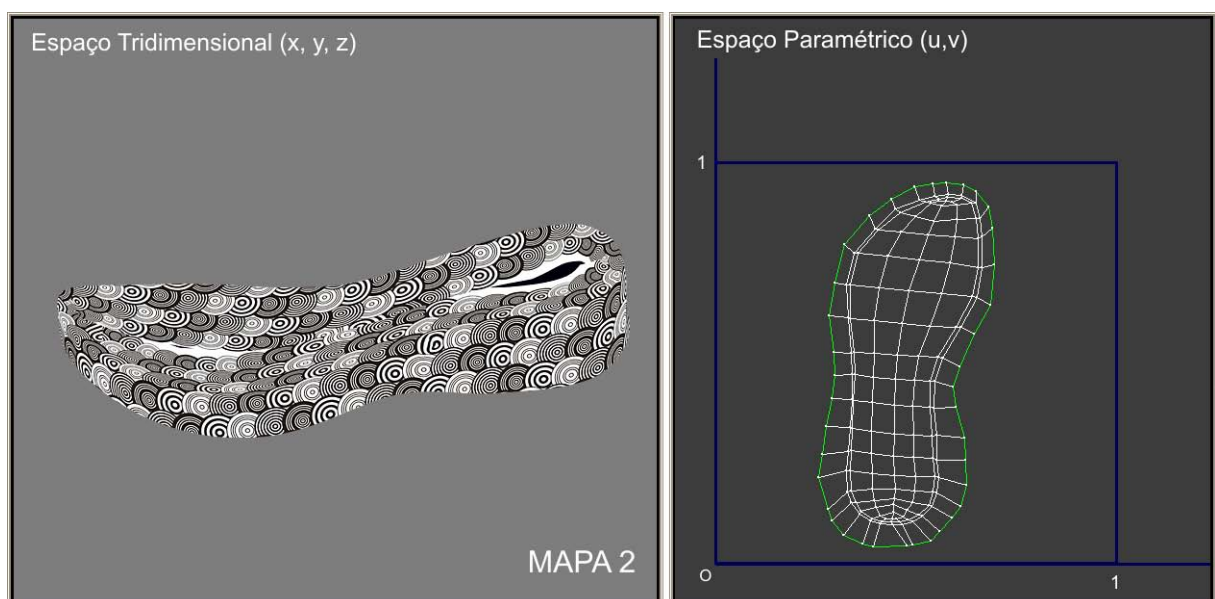


Figura 136: Verificação computacional do método - “imagem 2D distorcida” aplicada na superfície da sandália tridimensional, conforme mapa 1
Fonte: a autora.

Na Figura 137 (a) percebe-se que o meio da imagem ficou interrompido, pois optou-se por dar preferência à lateral da sandália onde o problema das distorções é crítico.

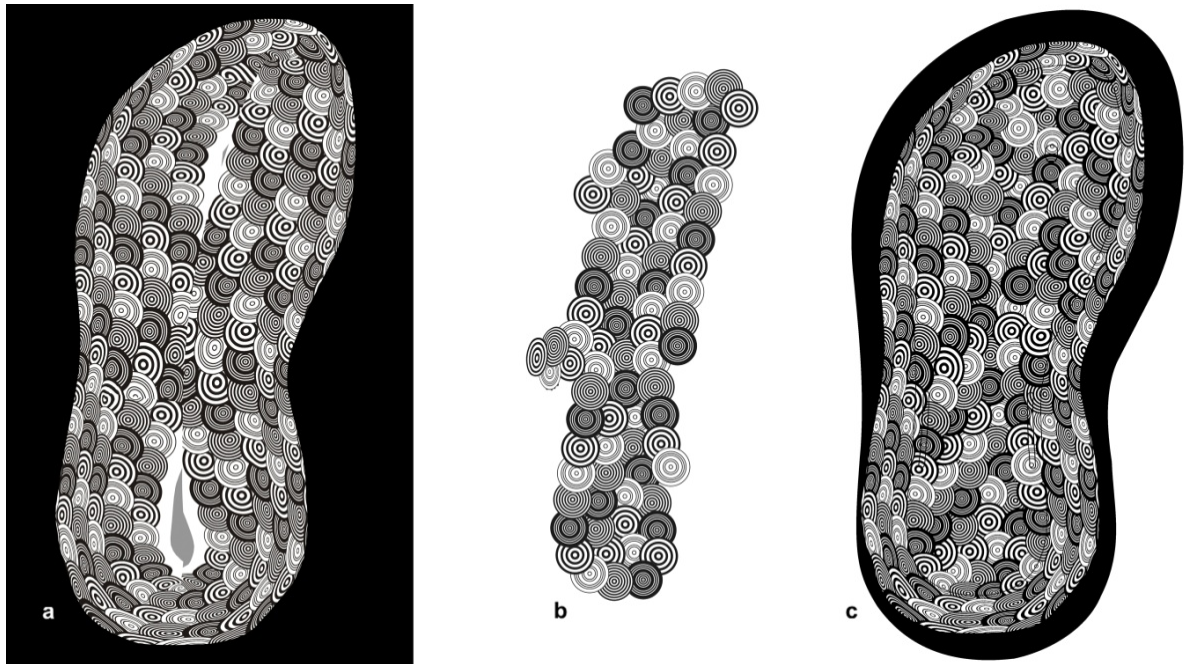


Figura 137: (a) imagem 2D distorcida; (b) miolo; (c) imagem 2D distorcida com miolo

Fonte: a autora

Para que a sandália seja totalmente revestida no topo, constrói-se o topo da imagem (Figura 137 - b), no plano, em um software de edição de imagem vetorial, e após, exporta-se a imagem para o formato bitmap. Para que a escala dos elementos visuais da lateral da sandália fiquem proporcionais aos elementos visuais do topo, utiliza-se a “imagem 2D distorcida” (Figura 137 - a) como referência visual. Posteriormente, mescla-se em um software de edição de imagem bitmap, as duas partes desenvolvidas, Figuras 113 (a) e (b), constituindo a imagem final a ser aplicada na sandália, representada na Figura 137 (c).

A seguir têm-se os protótipos executados na fábrica para a verificação do método na prática industrial. Nas Figuras 138 e 139 apresentam-se os protótipos finais, um acima do outro, para verificar-se a diferença existente nos produtos sem e com aplicação do método.

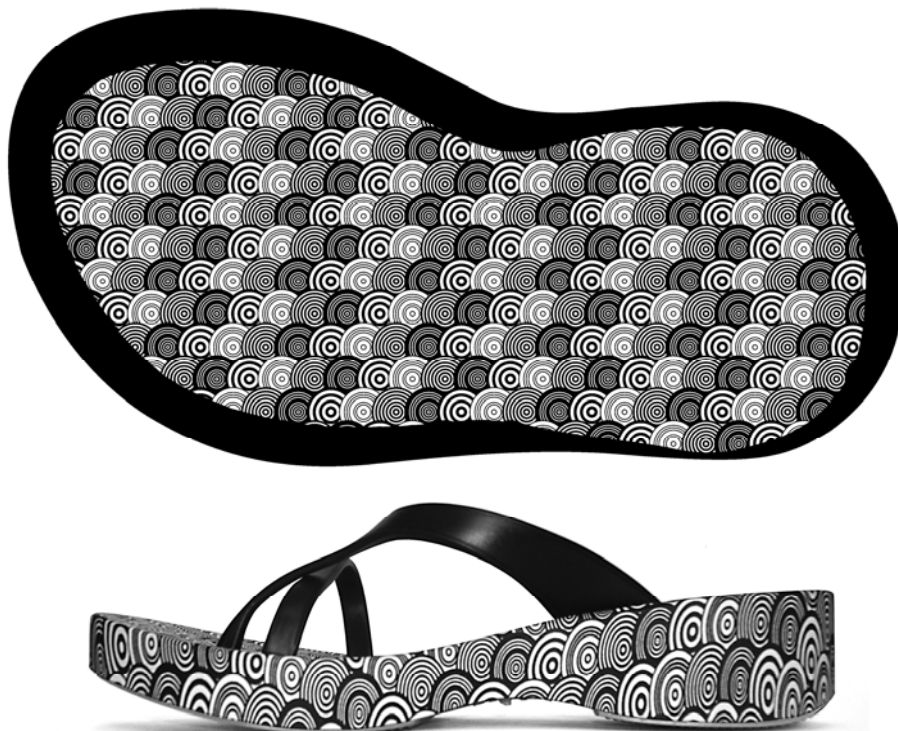


Figura 138: Protótipo sem a aplicação do método de controle de distorção
Fonte: Imagem da autora, protótipo produzido pela Grendene® para esta pesquisa



Figura 139: Protótipo com a aplicação do método de controle de distorção
Fonte: Imagem da autora, protótipo produzido pela Grendene® para esta pesquisa

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Ao término desta pesquisa – que teve por objetivo desenvolver um método de controle de distorção adequado ao design de superfície de produto industrial com forma tridimensional não planificável produzido em larga escala, de modo a minimizar as distorções gráficas procedentes da aplicação de uma imagem bidimensional em um objeto tridimensional com superfície não planificável, considerando a complexidade da geometria do objeto, o material e o processo de fabricação utilizados – chega-se a algumas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Em relação ao objetivo geral acima descrito, pode-se concluir que o método de controle de distorção mostrou-se eficaz através da verificação nos protótipos físicos, produzidos nas estruturas fabris das três empresas envolvidas. Através dos testes comprovou-se que a correspondência entre o espaço euclidiano e o espaço paramétrico possibilita que uma imagem bidimensional seja mapeada na superfície do objeto tridimensional com geometria não planificável e também o inverso, ou seja, que uma imagem já aplicada na superfície do objeto tridimensional não planificável seja planificada, contendo as distorções equivalentes a não correspondência de geometria entre as superfícies envolvidas (a plana e a tridimensional), isto é, a “imagem 2D distorcida”. Ainda dentro do objetivo geral, pode-se concluir também que, além de considerar as variáveis de não correspondência geométrica entre as duas superfícies envolvidas, o método também considera as variáveis de processo e de materiais, pois através do protótipo de referência física pode-se neutralizar os efeitos dessas variáveis. Cabe ressaltar que essas variáveis estavam sendo consideradas no início desta pesquisa, como variáveis, pois somente quando se estava estabelecendo a estrutura do método percebeu-se que o protótipo de referência física possibilitava a neutralização dos efeitos das duas variáveis (processos de fabricação e materiais).

Através dos testes comprovou-se que esses recursos, comumente utilizados pela indústria de desenhos animados e de games virtuais, também podem ser utilizados pela indústria de produtos manufaturados produzidos em série.

Por meio dos três testes verificou-se que as “imagens 2D distorcidas” ficaram adequadas aos respectivos produtos, compensando de fato as distorções. No entanto, nota-se também que ajustes são necessários, pois através dos protótipos de verificação física apresentados, pode-se perceber que ainda persistem algumas distorções indesejadas, que podem estar ocorrendo por motivos distintos e até mesmo cumulativos. Entre essas causas, pode-se se citar a não correspondência exata de geometria entre o objeto físico e o virtual (etapa 1 – modelagem); a não correspondência de distribuição da imagem aplicada no objeto virtual e no físico (etapa 1 – construção do mapa 1); variáveis extremas de processo de tratamento da superfície na fábrica, como, por exemplo, falta de precisão de equipamentos ao aplicar a imagem sobre o objeto.

Em termos de viabilidade financeira, conclui-se que o método é viável economicamente para produtos produzidos em série, tanto em otimização de horas de trabalho quanto em custos com materiais de desenvolvimento. Em relação às horas de trabalho o método é extremamente eficaz, pois, depois de construídos os mapas 1 e 2, estes podem ser utilizados em outros projetos de superfície, necessitando-se apenas pequenos ajustes em alguns casos. Cabe ressaltar que os mapas construídos são válidos apenas para os produtos com geometria idêntica, ou seja, a cada nova geometria necessita-se um novo desenvolvimento com a aplicação do método na íntegra. Quanto ao custo dos materiais de desenvolvimento, seria necessário considerar um software de modelagem que contenha os recursos apresentados na pesquisa, e a cada nova geometria, o custo de um protótipo de referência para consideração das variáveis de processo.

Concluindo este estudo, é importante ressaltar que a cada momento surgem novos recursos fornecidos pela computação gráfica que auxiliam na texturização de objetos virtuais, e que o diferencial deste estudo se concretizou na adaptação e verificação de apenas alguns desses recursos, que foram direcionados à realidade física de indústrias de produtos manufaturados produzidos em série, contribuindo para o aperfeiçoamento de produtos que geram maior força competitiva.

A partir desta pesquisa também pode se concluir que é cada vez mais estreita a relação entre design visual e de produto. Através dos protótipos de verificação percebe-se que um design integrado pode representar um diferencial competitivo.

De forma mais ampla, conclui-se que outro diferencial deste estudo foi ter ampliado e intensificado a pesquisa interdisciplinar desenvolvida entre a universidade e a indústria, contribuindo para o crescimento e melhoria de processos e produtos brasileiros, ao envolver três grandes empresas nacionais neste projeto de pesquisa.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se pesquisar o problema das distorções em superfícies não planificáveis com relevo, denominados mapeamentos de rugosidade (*bump-mapping*).

Sugere-se ainda a pesquisa de adaptação e/ou verificação desse método em embalagens, onde utilizam-se com frequência processos como *shrink*, *in mold label*, *sleeve*.

Outra direção seria o estudo de processos de automação de leitores ópticos que possibilitem aprimorar a correspondência entre a disposição da imagem no protótipo de referência e a disposição da imagem no modelo virtual, o que neutraliza ainda mais as variáveis de processo industrial e permite que esse método seja ainda mais eficaz.

6. REFERÊNCIAS

BARISON, M. B. **Geométrica: Desenho Geometria e Arquitetura On Line**. Disponível em: <http://www.mat.uel.br/geometrica>. Acesso em 20 jun. 2009.

BARBOSA, R. M. **Descobrendo padrões em mosaicos**. São Paulo: Atual, 1993.

BATALHA, G. F. PMR - 2202 Introdução Manufatura Mecânica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da Escola Politécnica da USP. Out. 2003. Disponível em: http://www.poli.usp.br/pmr/lefa/paginas/nota_de_aula.htm. Acesso em 06 jun. 2009.

DONDIS, D. **Sintaxe da linguagem visual**. 2 Ed. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

CARDOSO, R. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

CAMPOS, C. **Plastic**. New York: maomao publications, 2007

CUSSON, Roger. **3ds Max 7 Fundamentals and Beyond Courseware Manual: Fundamentals and Beyond Courseware Manual**. Focal Press, 2005.

EBERT, D.; MUSGRAVE, K.; PEACHEY, D.; PERLIN, K.; WORLEY, S. **Texturing & Modeling - A Procedural Approach**. 3 ed. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

FORTY, A. **Objetos de desejo: design e sociedade desde 1750**. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

GARBINI, G. **O Mundo da Arte - Mundo Antigo**. 7 ed. Rio de Janeiro : Expressão e Cultura, 1979.

GOMES FILHO, J. **Gestalt do objeto: sistema de leitura visual da forma**. São Paulo: Escrituras Editora, 2000.

GRENDENE® . Disponível em: www.Grendene.com.br. Acesso em 20 mai 2009.

GRUBE, E.. **O Mundo da Arte - Mundo Islâmico**. 7 ed. Rio de Janeiro : Expressão e Cultura, 1979.

HECKBERT, P. S. **Fundamentals of Texture Mapping and Image Warping**. Thesis

HELLAMANN'S - **Embalagem**. Disponível em - <http://www.hellmanns.com.br/home/>. Acesso em: 10 mai. 2009.

(Master) - Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, 1989.

KIBON - Sorvete. Disponível em :

<http://lavinonmovin.wordpress.com/2008/09/20/aula-do-dia-0509/> Acesso em: 02 jun. 2009.

LE CORBUSIER. **Por uma arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 1977.

LEHAVOP. **Arte Grega**. Disponível em:

http://www.webboom.pt/PDF/LEHAVOP_02609_PagTip01.PDF. Acesso em: 19 out. 2009.

LOMMEL, A. **O Mundo da Arte - Arte Pré-história e Primitiva**. 7 ed. Rio de Janeiro : Expressão e Cultura, 1979.

LUZ, J. L. S.. **Visualização de nuvens de pontos com aproximações quase planares e blending de textura**. Dissertação (Mestrado em Matemática) -Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada, IMPA, Rio de Janeiro, 2004.

MANZINI, E. **A matéria da invenção**. Lisboa: Centro Português de Design, 1993.

MATEUS, L. M. C. **Estudo das superfícies**. [S.l.:s.n.], 2006. Disponível em:

<http://home.fa.utl.pt/~lmmateus/0607_1sem/files/superficies_1.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2007.

MARTINS, R.; GUERREIRO, L. **Máquinas e equipamentos**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Mar. 2006. Disponível em: <http://www.sbrt.ibict.br>. Acesso em 06 jun. 2009.

MÖLLER, T.; HAINES, E; HOFFMAN, N. **Real-Time Rendering**. 3 ed. Wellesley: A K Peters Ltd, 2008.

NESTLÉ® - **Embalagens expandidas**. Acervo Curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Embalagem da ESPM de São Paulo. Entrevista com o professor Fábio Mestriner, ESPM. São Paulo, out. de 2008.

OXFORD® , **Louças da cerâmica**. Disponível em: www.Oxford®.ind.br. Acesso em: 18 de junho de 2009.

PEREIRA, K. R. O. **Máquinas e equipamentos. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas**. Jul. 2005. Disponível em: <http://www.sbrt.ibict.br>. Acesso em 06 jun. 2009.

PRINGLES. Disponível em: <http://thefishgate.blogspot.com/2008/06/pringle-ashes.html>. Acesso em: 12 de maio de 2009.

ROYAL. **Embalagem - Naritadesign** . Disponível -

http://www.naritadesign.com.br/html/portifolio_det.php?23_2. Acesso em: 28 junho 2009.

RÜTHSCHILLING, E. A.. **Design de Superfície**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2008.

SCHATTSCHEIDER, D.; WALKER, W.. **Caleidociclos de M.C.Escher**. Berlin: Ed. Taschen, 1997.

SANTAELLA, L. **Semiótica aplicada**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

SCHWARTZ, A. R. D. **Design de Superfície: por uma visão projetual geométrica e tridimensional**. Dissertação (Mestrado em Desenho de Produto) – UNESP. Bauru, 2008. 200p.

SILVA, R. P. ; SILVA, T. L. K. ; TEIXEIRA, F. G. ; BARCIA, R. M. . **Aprendizagem Significativa : Uma Metodologia De Ensino Para A Geometria Descritiva**. In: COBENGE 2004 - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2004, Brasília. Anais do Cobenge 2004, 2004.

STRONG, D.. **O Mundo da Arte - Antiguidade Clássica**. 7 ed. Rio de Janeiro : Expressão e Cultura, 1979.

TEIXEIRA, F.G. Modelamento paramétrico e geração de malha em superfícies para aplicações em engenharia. Tese de Doutorado - Promec/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

TEIXEIRA, F. G. ; SILVA, R. P. ; SILVA, T. L. K. . **A Learning Environment For Teaching Of Descriptive Geometry**. In: ICEE99 - International Conference on Engineer Education, 1999, Ostrava-Praga. ICEE99 - Proceedings, 1999.

Termolar - **Garrafas térmicas**. Disponível em : www.termolar.com.br. Acesso em: 10 set de 2008.

TRAMONTINA® - **Linha Vivacor**. Disponível em www.Tramontina®.com.br. Acesso em: 15 de junho de 2009.

TRUJILLO, I. L.; **Diseño de productos elaborados com textiles y laminares. Del 3D-CAD a la documentación de patrones bidimensionales**. In: Congreso de la Sociedad Iberoamericana de la Gráfica Digital, XI.,2007, Cidade do México. Anais do Sigradi XI. Cidade do México: [s.n.], 2007. 1 CD-ROM.

TVS - **Empresa Italiana de utilitários** - Linha Easypretty Décors. Disponível em <http://www.tv-spa.it/default.asp?lang=ita>. Acesso em: 10 jun. 2009.

WEISZFLOG, W. **Michaelis: moderno dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 2001.

WONG, W.. **Princípios de Forma e desenho**. São Paulo: MARTINS Fontes, 1998.