



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

TANIA INES SULZBACHER

**Composição Formal de Família de Produtos: Geração de
Alternativas de Solução utilizando Modelagem Paramétrica e
Algoritmos Genéticos**

TESE DE DOUTORADO

Porto Alegre

2018

TANIA INES SULZBACHER

Composição Formal de Família de Produtos: Geração de Alternativas de Solução utilizando Modelagem Paramétrica e Algoritmos Genéticos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Porto Alegre

2018

Sulzbacher, T. **Composição Formal de Família de Produtos: Geração de Alternativas de Solução utilizando Modelagem Paramétrica e Algoritmos Genéticos**. 2018. 248 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CIP - Catalogação na Publicação

Sulzbacher, Tânia Inês
Composição Formal de Família de Produtos: Geração
de Alternativas de Solução utilizando Modelagem
Paramétrica e Algoritmos Genéticos / Tânia Inês
Sulzbacher. -- 2018.
248 f.
Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Algoritmos Genéticos. 2. Design de Produto. 3.
Modelagem Paramétrica. 4. Design e Tecnologia. I.
Gonçalves Teixeira, Fábio, orient. II. Título.

Composição Formal de Família de Produtos: Geração de Alternativas de Solução utilizando Modelagem Paramétrica e Algoritmos Genéticos

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 26 de setembro de dois mil e dezoito.

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira**

Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG/UFRGS

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG/UFRGS – Examinador Interno

Prof. Dr. Sergio Leandro dos Santos

Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG/UFRGS – Examinador Externo

Prof. Dr. Vinicius Gadis Ribeiro

Departamento Interdisciplinar do Campus Litoral Norte –UFRGS - Examinador Externo

Dedico este trabalho ao meu filho,
Henrique Sulzbacher Hinrichs.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Fábio Gonçalves Teixeira, com quem divido o mérito deste trabalho, pelo seu exemplo de seriedade e generosidade; pelo seu incentivo ao aperfeiçoamento constante da prática projetiva e da investigação científica; e por compartilhar comigo o apreço pelos princípios da natureza. Obrigada por me conduzir até aqui! Agradeço também aos professores avaliadores, Prof. Dr. Vinicius Gadis Ribeiro, Prof. Dr. Regio Pierre da Silva e Prof. Dr. Sergio Leandro dos Santos. Agradeço em especial a Prof. Dra. Tânia Koltermann da Silva por suas contribuições na ocasião do exame de qualificação.

Agradeço ainda, aos colaboradores das bibliotecas da universidade sempre muito solícitos e prestativos, e aos profissionais da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico – SEDETEC pelo suporte e orientações para o encaminhamento dos registros de Patente de Invenção e Registro de Software.

Agradeço aos meus pais, exemplos de ética, trabalho e resiliência, e em especial agradeço ao meu marido, Gabriel! Sorte a minha compartilhar a vida com alguém que desperta e ajuda a construir a minha melhor versão!

Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo provimento da bolsa de pesquisa.

RESUMO

Em contexto de processo de projeto de desenvolvimento de família de produtos, além do equacionamento de fatores que melhor atendam os requisitos funcionais individuais de cada membro, também se faz necessária a manutenção da coerência estilística para que a mesma seja percebida como um conjunto, ou seja, que preserve uma unidade formal reconhecível pelo usuário e que tecnicamente é denominada como similaridade morfológica. Diante disto, o presente trabalho apresenta uma abordagem de geração de alternativas baseada no princípio da hereditariedade da genética natural, onde sucessivas gerações mantêm semelhanças de fenótipo em razão da contínua transferência de instruções em forma de código, o genótipo. Para tanto foi desenvolvido um modelo generativo que vincula os padrões da construção geométrica da morfologia dos elementos da família de produtos aos elementos e estruturas da genética, permitindo que os mesmos sejam tratados como unidades cromossômicas passíveis de manipulação por algoritmos genéticos e sujeitos aos princípios das combinações e mutações análogas ao contexto biológico. O resultado alcançado através da automação deste processo foi a geração de um maior número de alternativas que além de atender a similaridade formal equaciona ainda critérios de dimensão e volumetria (requisitos funcionais) previamente parametrizados. O modelo generativo foi desenvolvido para aplicação em formas concebidas através de superfícies de revolução, utilizando a gramática da forma como estratégia de composição e decomposição das geratrizes que descrevem a morfologia das superfícies, criando condições de manipular os seus elementos e seus operadores de maneira isolada, além de permitir a relação das equivalências entre os padrões geométricos, genéticos e computacionais. Em consequência, tornou-se possível a troca de material genético entre duas distintas composições formais, ou seja, é possível derivar a geometria de um elemento A para um elemento B de maneira integral ou parcial, simulando as operações da genética como combinação e mutação através de algoritmos genéticos (AG's). O modelo generativo foi verificado através da estruturação de um modelo computacional (Plug-In denominado GAIA) que implementa as funcionalidades descritas no presente trabalho, permitindo-se assim a sistematização da geração de alternativas e o uso e aplicação das transcrições geométricas para as genéticas e em seguida para as computacionais, através de interface de parametrização e visualização de resultados.

Palavras-chave: Algoritmos Genéticos; Design de produto; Modelagem Paramétrica, Design e Tecnologia

ABSTRACT

In the context of a product family development project process, besides the equation of factors that best meet the individual functional requirements of each member, it is also necessary to maintain the stylistic coherence so that it is perceived as a whole, that is, which preserves a formal unit that is recognizable by the user and is technically called morphological similarity. The present work presents an alternative generation approach based on the principle of heredity of natural genetics, where successive generations maintain phenotype similarities due to the continuous transfer of instructions in code form, the genotype. For this, a generative model was developed that links the geometric construction patterns of the morphology of the elements of the family of products to the elements and structures of the genetics, allowing them to be treated as chromosomal units susceptible of manipulation by genetic algorithms and subject to the principles of the combinations and mutations analogous to the biological context. The result achieved through the automation of this process was the generation of a greater number of alternatives that besides meeting the formal similarity equates yet dimensioned criteria and volumetry (functional requirements) previously parameterized. The generative model was developed for application in forms conceived through surfaces of revolution, using the grammar of the form as strategy of composition and decomposition of generatrices that describe the morphology of the surfaces, creating conditions to manipulate its elements and their operators in an isolated way, besides allowing the relation of the equivalences between the geometric, genetic and computational patterns. As a consequence, it became possible to exchange genetic material between two different formal compositions, ie it is possible to derive the geometry from an element A to an element B integrally or partially, simulating the operations of genetics as a combination and mutation through of genetic algorithms (GAs). The generative model was verified through the structuring of a computational model (Plug-In denominated GAIA) that implements the functionalities described in the present work, thus allowing the systematization of the generation of alternatives and the use and application of the geometric transcriptions for the genetic and then to the computational ones, through the parameterization interface and results visualization.

Keywords: Genetic Algorithms; Product Design; Parametric Modeling, Design and Technology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Similaridade Morfológica em Categorias Conceituais	21
Figura 2: Corpo e componentes acessórios	26
Figura 3: Evolução Morfológica da Coca-Cola	37
Figura 4: Exemplo Ilustrado de Combinação de uma Plataforma	38
Figura 5: Interação entre uma Família de Produtos	39
Figura 6: Exemplo Ilustrado de Compartilhamento	41
Figura 7: Exemplo Ilustrado de Permuta	42
Figura 8: Exemplo Ilustrado de Adaptação.....	42
Figura 9: Exemplo Ilustrado de Barramento	43
Figura 10: Exemplo Ilustrado de Seccionalidade	43
Figura 11: Exemplo Ilustrado de Elementos de Interface.....	45
Figura 12: Formato e Volume	53
Figura 13: Exemplo de Composição de Geratriz a partir de arcos geométricos	54
Figura 14: Exemplo de Composição a partir de Arcos Geométricos.....	55
Figura 15: Exemplo de concordância	56
Figura 16: Exemplo de Concordância entre Arco e Reta	56
Figura 17: Exemplo de Concordância entre dois Arcos	57
Figura 18: Representação da Série de Fibonacci	58
Figura 19: Representação do Retângulo Áureo	59
Figura 20: Representação da Unificação	60
Figura 21: Representação da Segregação.....	61
Figura 22: Representação de Fechamento	61
Figura 23: Representação de Continuidade.....	62
Figura 24: Representação da Proximidade	62
Figura 25: Representação da Semelhança	63
Figura 26: Representação da Pregnância.....	63
Figura 27: Exemplo Ilustrado de Associação	67
Figura 28: Exemplo Ilustrado de Imperfeição.....	67
Figura 29: Exemplo Ilustrado de Distorção Espacial.....	67
Figura 30: Exemplo Ilustrado de União e Subtração.....	68

Figura 31: Exemplo Ilustrado de Tensão e Compressão	68
Figura 32: Coerência Intra e Interfigural em Família de Produtos.....	69
Figura 33: Ilustração de Composição por Isometria	70
Figura 34: Ilustração de Composição por Homeometria	70
Figura 35: Ilustração de Composição por Singenometria.....	70
Figura 36: Ilustração de Composição por Catametria	71
Figura 37: Ilustração de Composição por Heterometria.....	71
Figura 38: Ilustração de Composição por Ametria	71
Figura 39: Ilustração de Transformações Isométricas.....	74
Figura 40: Ilustração de Transformação Paramétrica	74
Figura 41: Ilustração de Relação Topológica	75
Figura 42: Ilustração Usando Transformação Contínua.....	78
Figura 43: Ilustração Usando Diferentes Arranjos Análogos.....	78
Figura 44: Exemplo de um projeto de plano de piso único com a informação de penalidades e o gráfico topológico de espaços.....	80
Figura 45: Modelos de Simulação de Dispositivos de Sombreamento; (a) Desenho Inicial e (b) Desenho Otimizado	81
Figura 46: Conjunto de regras de composição baseada	82
Figura 47: (a) Interface do Modelo Generativa; (b) População de Resultados ..83	
Figura 48: (a) Esquema ilustrado do Motor; (b) Imagem fotográfica do Motor..85	
Figura 49: Variações da Motocicleta Harley-Davidson®	85
Figura 50: Elementos de Vocabulário.....	86
Figura 51: Relações Espaciais	87
Figura 52: Regras Formais	87
Figura 53: Produto (sabonete) da Marca Dove®.....	88
Figura 54: Diagrama de Regras Formais	89
Figura 55: Representação de Sequências Cromossômicas.....	94
Figura 56: Ciclo do Algoritmo Genético	94
Figura 57: Representação de Cruzamento Genético	95
Figura 58: Relação Gramática da Forma x Hereditariedade	98
Figura 59: Estrutura do Algoritmo Genético	101
Figura 60: Esquema Ilustrado da Etapa de Investigação	104
Figura 61: Esquema Ilustrado da Composição da Forma usando Superfícies de Revolução.....	106
Figura 62: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz.....	107
Figura 63: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz.....	107

Figura 64: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz.....	108
Figura 65: Construção de Similaridade dos produtos LeCreuset®	109
Figura 66: Esquema Ilustrado da Etapa de Abstração	111
Figura 67: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz.....	112
Figura 68: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz.....	113
Figura 69: Elementos de Vocabulário.....	114
Figura 70: Conjunto de Regras Formais - Cromossomo	116
Figura 71: Transferência de Genes em Locus Correspondente.....	117
Figura 72: Transferência de Genes em Locus não Correspondente.....	118
Figura 73: Transferência de Genes por Fluxo Gênico.....	118
Figura 74: Composição da Área	120
Figura 75: Grau de Dominância x Grau de Relevância Formal.....	128
Figura 76: Criação de Cromossomo Duplo	130
Figura 77: Composição de Geratrizes através de Arcos Tangentes	131
Figura 78: Arranjos de Moléculas	133
Figura 79: Sequências Cromossômicas	134
Figura 80: Estratégia Desenvolvida pela Pesquisa	140
Figura 81: Produtos da marca Danoninho®	141
Figura 82: Produtos da marca DinoDanoninho®.....	142
Figura 83: Composição de Arcos Tangentes da Embalagem	143
Figura 84: Composição do Algoritmo Genético	145
Figura 85: Menu de Opções do Modelo Computacional	147
Figura 86: Objetos Primitivos.....	148
Figura 87: Objetos de Manipulação de Dados	149
Figura 88: Diagrama de Classes de Genes.....	152
Figura 89: Classes de Composição e Decomposição	153
Figura 90: Classes de Operações e Validações.....	154
Figura 91: Implementações em VB.NET da distância de Levenshtein.....	154
Figura 92: Implementação de Comparação de Igualdade entre Genes.....	155
Figura 93: Classe de Base de Dados (GAIA).....	156
Figura 94: Módulos Complementares.....	157
Figura 95: Configuração de DNA.....	158
Figura 96: Arcos Tangentes DinoDanoninho®	159
Figura 97: Configuração de Cromossomo (DNA).....	159
Figura 98: Configuração do Gene1	160

Figura 99: Configuração do Gene1 – Operações.....	160
Figura 100: Configuração do Gene2	161
Figura 101: Configuração do Gene2 – Operações.....	161
Figura 102: Configuração do Gene3	162
Figura 103: Configuração do Gene3 – Operações.....	162
Figura 104: Configuração do Gene4	163
Figura 105: Configuração do Gene4 – Operações.....	163
Figura 106: Configuração do Gene5 – Operações.....	164
Figura 107: Configuração do Gene5 – Operações.....	164
Figura 108: Configuração do Gene6 – Operações.....	165
Figura 109: Configuração do Gene6 – Operações.....	165
Figura 110: Geratriz Seminal.....	166
Figura 111: Geratriz Inicial.....	167
Figura 112: Exemplo ilustrado da matriz de Levensthein.....	168
Figura 113: Geratriz Inicial Embalagem de 45gr	169
Figura 114: Geratrizes (Fluxo Gênico)	169
Figura 115: Geração de Filhos (45gr).....	170
Figura 116: Geratriz Inicial Embalagem de 450gr	171
Figura 117: Geratrizes (Fluxo Gênico)	171
Figura 118: Geratriz Inicial Embalagem de 900gr	173
Figura 119: Geratrizes (Fluxo Gênico)	173
Figura 120: Geração de Filhos (900gr).....	174
Figura 121: Geratriz Inicial.....	175
Figura 122: Exemplo ilustrado da matriz de Levensthein.....	176
Figura 122: Geratriz Inicial Embalagem de 100ml.....	177
Figura 123: Geratrizes (Fluxo Gênico)	177
Figura 124: Geração de Filhos (100 ml).....	178
Figura 126: Geratriz Inicial Embalagem de 400ml.....	179
Figura 127: Geratrizes (Fluxo Gênico)	179
Figura 128: Geração de Filhos (400 ml).....	180
Figura 129: Geratriz Inicial Embalagem de 700ml.....	181
Figura 130: Geratrizes (Fluxo Gênico)	181
Figura 131: Geratrizes (Fluxo Gênico)	182

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relação (Elemento x Componente).....	93
Quadro 2: Relação de Equivalências	99
Quadro 3: Atendimentos de Objetivos.....	102
Quadro 4: Relação (Elemento x Operação)	110
Quadro 5: Conjunto de Regras para composição da GERATRIZ 1	115
Quadro 6: Relação (Identificador x Significado)	119
Quadro 7: Regra 0	120
Quadro 8: Regra 1	121
Quadro 9: Regra 2	122
Quadro 10: Regra 3	122
Quadro 11: Regra 4	123
Quadro 12: Regras e Funções	123
Quadro 13: Regras de Composição da GERATRIZ 2	125
Quadro 14: Regras de Composição da GERATRIZ 3	126
Quadro 15: Regras de Composição da GERATRIZ 4	127
Quadro 16: Cadeia de Cromossomos	129
Quadro 17: Sequência Cromossômica.....	132
Quadro 18: Exemplo 1 de Gráfico de Pontos	135
Quadro 19: Exemplo 2 de Gráfico de Pontos	136
Quadro 20: Exemplo 3 de Gráfico de Pontos	136
Quadro 21: Gráfico de Pontos Geratriz 1 x Geratriz 2.....	137
Quadro 22: Gráfico de Pontos Geratriz 1 x Geratriz 3.....	137
Quadro 23: Gráfico de Pontos Geratriz 1 x Geratriz 4.....	138
Quadro 24: Definição do Fitness	139
Quadro 25: Dimensões das Variações Formais	144
Quadro 26: Relações Teóricas e Contribuição.....	186
Quadro 26: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Mutação 1	200
Quadro 27: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Mutação 2	201
Quadro 28: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Mutação 3	202

Quadro 29: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Mutação 4	203
Quadro 30: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 1.....	204
Quadro 31: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 2.....	205
Quadro 32: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 3.....	206
Quadro 33: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 4.....	207
Quadro 34: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 1	208
Quadro 35: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 2	209
Quadro 36: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 3	210
Quadro 37: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 4	211
Quadro 38: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho1.....	212
Quadro 39: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho2.....	213
Quadro 40: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho3.....	214
Quadro 41: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho 4.....	215
Quadro 42: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutação 1	216
Quadro 43: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutação 2	217
Quadro 44: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutação 3	218
Quadro 45: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutação 4	219
Quadro 46: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho1.....	220
Quadro 47: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho2.....	221
Quadro 48: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho3.....	222
Quadro 49: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho4.....	223
Quadro 50: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç�o1	224
Quadro 51: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç�o2.....	225
Quadro 52: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç�o3.....	226
Quadro 53: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç�o4	227
Quadro 54: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho1	228
Quadro 55: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho2.....	229
Quadro 56: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho3	230
Quadro 57: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho4	231
Quadro 58: Fluxo Gênico (Embalagem de 400ml) Mutaç�o1	232
Quadro 59: Mutação (Embalagem de 400ml) Mutaç�o2.....	233
Quadro 60: Mutação (Embalagem de 400ml) Mutaç�o3.....	234
Quadro 61: Mutação (Embalagem de 400ml) Mutaç�o4.....	235
Quadro 62: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho1	236
Quadro 63: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho2	237

Quadro 64: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho3	238
Quadro 65: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho4	239
Quadro 66: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Mutação1	240
Quadro 67: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Mutação2	241
Quadro 68: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Mutação3	242
Quadro 69: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Mutação4	243
Quadro 70: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho1	244
Quadro 71: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho2	245
Quadro 72: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho3	246
Quadro 73: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho4	247

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Contextualização do Tema	20
1.2	Delimitação do Tema	25
1.3	Formulação do Problema	27
1.4	Hipótese	27
1.5	Objetivo	27
1.6	Objetivos Específicos	28
1.7	Justificativa	29
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	32
2.1	O Projeto de Família de Produtos	32
2.1.1	Princípios de projeto para famílias de produtos	33
2.1.1.1	Variedade em Família de Produtos	33
2.1.1.2	Taxa de Variação em Famílias de Produtos	34
2.1.1.3	Coerência Estilística em Família de Produtos	35
2.1.1.4	Plataforma em Família de Produtos	37
2.1.1.5	Arquitetura em Família de Produtos	38
2.1.2	Modularidade	39
2.1.2.1	Tipos de Modularidade	41
2.1.2.2	Vantagens do Conceito da Modularidade	44
2.1.3	A Relação Parte-Todo	46
2.2	Mecanismos e Operadores da Genética Natural	47
2.2.1	Operações Genéticas	49
2.2.2	Estruturas (Elementos) Genéticas	49
2.2.3	Analogia Biológica	51
2.3	Princípios de Composição e Decomposição da Forma	52
2.3.1	Princípios da Forma	53
2.3.1.1	Composição Tridimensional através de Superfícies de Revolução	54
2.3.1.2	Concordância	55
2.3.2	Princípios de Composição	57
2.3.2.1	Geometrias	58
2.3.2.2	Leis da Gestalt	59
2.3.2.3	Categorias Conceituais	64
2.3.3	Similaridade	65
2.3.3.1	Similaridade de Unidade de Forma	65
2.3.3.2	Similaridade de Formato	66
2.3.3.3	Morfologia e Coerência Formal	69
2.3.3.4	Forma e Similaridade: A manipulação através de Tecnologias Computacionais	72
2.3.3.5	Padrões formais como Conhecimento de Design	72

2.3.3.6	Padrões Formativos.....	73
2.3.3.7	Relações espaciais e representação.....	73
2.3.3.8	Similaridade em formas e arranjos formais.....	76
2.3.3.9	Categoriais de Similaridade.....	76
2.4	Métodos Generativos de Projeto.....	78
2.4.1	Métodos Generativos de Projeto na Arquitetura.....	79
2.4.2	Métodos Generativos de Projeto no Design.....	81
2.4.3	Projeto Generativo utilizando Gramática de Forma.....	83
2.5	Projeto Generativo utilizando Gramática da Forma.....	86
2.5.1.1	Geração Reversa de Gramática da Forma.....	88
2.5.1.2	Geração Parametrizada de Formatos/Formas.....	90
2.5.1.3	Geração de Geometrias usando Algoritmos Genéticos.....	90
2.6	A Computação Bio-Inspirada.....	91
2.6.1	Algoritmos Genéticos.....	91
2.6.2	Princípios da Seleção Natural.....	92
2.6.3	Estruturas de Dados.....	93
2.6.4	Geração (População) Inicial.....	95
2.6.5	Cruzamento Genético (Mutação/Combinação).....	95
2.6.6	Geração Filhos.....	96
2.6.7	Fitness / Função de Avaliação (Aptidão/Convergência).....	96
2.7	Considerações sobre a Fundamentação Teórica.....	97
3	METODOLOGIA.....	100
3.1	Etapa de Investigação.....	104
3.2	Etapa de Abstração.....	110
3.2.1	Modelagem de Dados.....	111
3.2.1.1	Transcrição de Vocabulário Genético para o Geométrico.....	113
3.2.1.2	Transcrição de Vocabulário Geométrico para o Computacional.....	119
3.2.1.3	Teste de Solução.....	124
3.2.1.4	Tratamento da Coerência Estilística.....	127
3.2.1.5	Cruzamento Genético – Criação de Cromossomo duplo.....	130
3.2.2	Geração e Armazenamento de Dados.....	131
3.2.3	Validação de Dados.....	135
3.2.3.1	Definição do Fitness.....	139
3.2.4	Análise dos Dados.....	140
3.3	Etapa de Implementação.....	141
3.3.1	Composição do Algoritmo Genético.....	145
3.3.2	Estrutura do Modelo Computacional de Simulação.....	147
3.3.2.1	Implementação da Interface.....	147
3.3.2.2	Implementação de Algoritmos e Classes.....	150
3.3.2.3	Vocabulário Genético.....	150
3.3.2.4	Operações Genéticas.....	153
3.3.2.5	Persistência e Busca em Base de Dados.....	156
3.3.2.6	Módulos Complementares.....	156
4	Coleta e Análise de Dados.....	158
4.1	Parametrização de Geratrizes.....	158

4.2	Geração Inicial	166
4.3	Geração de Populações	167
4.3.1	Embalagens para Laticínios.....	167
4.3.2	Matriz de Similaridade – Laticínios	168
4.3.2.1	Laticínios – Embalagem de 45gr	168
4.3.2.2	Laticínios – Embalagem de 450gr	171
4.3.2.3	Laticínios – Embalagem de 900gr	173
4.3.3	Embalagens para Produtos de Higiene	175
4.3.4	Matriz de Similaridade – Produtos de Higiene.....	176
4.3.4.1	Produtos de Higiene Pessoal – Desodorante (100ml).....	176
4.3.4.2	Produtos de Higiene Pessoal – Sabonete Líquido (400ml)	179
4.3.4.3	Produtos de Higiene Pessoal – Shampoo (700ml).....	181
5	Resultados e Discussão dos Dados	183
6	Considerações Finais	188
6.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	189
APÊNDICE A	199

1 INTRODUÇÃO

A composição estético-formal de uma família de produtos está relacionada aos aspectos de similaridade formal entre os membros do conjunto. A manutenção destas características formais são aplicadas durante o processo de projeto, envolvendo técnicas de derivação baseadas em operações de transformação isométricas, paramétricas e topológicas (BONSIEPE, 1975; STINY, 1980; MITCHEL, 1992; CHA e GERO, 2006).

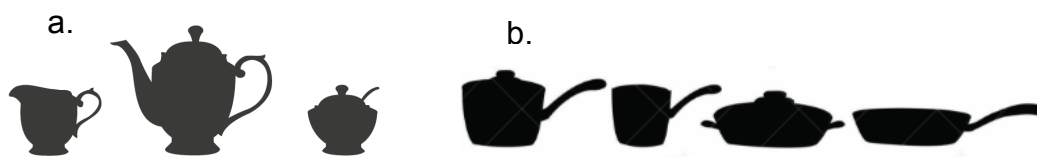
A composição estético-formal de uma família de produtos pode ser obtida de maneira sistemática através do uso do modelo de produção que combina uma plataforma de produtos com diferentes componentes (ECHEVESTE e FETTERMANN, 2011) variando suas composições através dos princípios da modularidade (PAHL e BEITZ, 1996; PINE, 1993). Ou ainda, através do recurso denominado gramática da forma, onde um vocabulário inicial origina diferentes tipos de composição orientados por regras formais (STINY, 1980); (MITCHEL, 1992); (CHA e GERO, 2006). Associados à modelagem paramétrica realizada em ambiente virtual, e submetidas aos recursos dos algoritmos genéticos que implementam o raciocínio da evolução das espécies através da busca dos mais aptos a cada geração, torna-se possível gerar e avaliar uma maior número de possibilidades de solução formal, ampliando a oferta de soluções viáveis no processo de desenvolvimento de produtos (CELANI e De MARTINO, 2012); (RODRIGUES et al, 2013). Neste contexto, a presente pesquisa apresenta um modelo generativo que associa os padrões da construção geométrica aos elementos e estruturas da genética, para que possam ser manipulados como unidades cromossômicas sujeitos aos princípios das combinações e mutações análogas ao contexto biológico.

O primeiro capítulo apresenta as considerações iniciais do estudo proposto, buscando esclarecimento sobre os conceitos fundamentais associadas ao desenvolvimento da pesquisa. A seguir estão expostas a contextualização, a formulação do problema de pesquisa, a sua delimitação, a hipótese, os objetivos e a justificativa.

1.1 Contextualização do Tema

As empresas que tradicionalmente trabalham com produtos de produção em massa, acompanharam nas últimas décadas, o fenômeno da incorporação do conceito de **customização em massa**, ou seja, a produção em massa de produtos personalizados. Tais produtos podem trazer uma inovação funcional, ou adequar um produto a expectativas estético-formais conferidas a um determinado nicho de mercado, pois há uma demanda crescente de clientes que esperam que os produtos sejam adaptados às suas exigências e particularidades em vez de aceitar produtos genéricos com base nos parâmetros médios de clientes (ELGARD e MILLER, 1998). A variedade de produtos gerada pode atender a diferentes requisitos que incluem: características funcionais; nível de desempenho; confiabilidade; funcionalidade; requisitos ambientais, reciclagem; eficiência ergonômica com melhor interface homem / produto, facilidade de uso, interação e melhor qualificação estética; entre outros (ERICSSON e ERIXON, 1999). A variedade de produtos também existe para satisfazer as diversas necessidades regionais ou aspectos culturais, climáticos, normativos, etc., ou diferentes segmentos de mercado, como por exemplo: individual e corporativo (PINE, 1993). Porém, isso abre a necessidade interna na indústria de gerar mais **variantes de produtos** através da agregação de novas famílias de produtos ao processo fabril; e/ou da ampliação do número de membros de famílias de produtos já produzidas; e/ou da eventual derivação de um produto já consolidado (ELGARD e MILLER, 1998). A definição do termo "**Família de Produtos**", (no inglês "Product Family"), aparece no Design Dictionary como: Equivalente a uma relação biológica entre as pessoas, animais ou plantas (sistemática biológica), sendo que um grupo de produtos também pode ser chamado de família, desde que haja uma "genética" congruente. A congruência genética implica possuir semelhanças formais, estéticas, construtivas e características semânticas entre os produtos, ou seja, a família de produtos é composta de vários produtos individuais, estreitamente relacionadas com o mesmo "código genético" (SIMPSON, et al, 2006). A Figura 1 apresenta duas diferentes categorias conceituais: Conjunto de Louças (Fig. 1a) e Conjunto de Panelas (Fig. 1b) que mantêm similaridade morfológica entre os respectivos membros.

Figura 1: Similaridade Morfológica em Categorias Conceituais



Fonte: Desenvolvido pela autora

El Maraghy e Al Gaddewy (2009) lembra que a variedade em design de produto existe, independentemente, da sua complexidade estrutural, pois pode ser uma simples lâmpada ou algo mais complexo como um carro ou um avião. Esta variedade também se propaga através dos vários níveis da montagem de cada variante do produto em subconjuntos, componentes e peças, sendo que a proliferação de variação do produto afeta toda a estrutura de atividades relacionadas a fabricação, desde a concepção até a produção. Portanto esta tendência de personalização tem levado as empresas a fornecer produtos altamente customizados, mas buscando manter a eficiência da empresa como no modelo clássico de produção em massa. Elgard e Miller (1998) afirmam que um dos fatores-chave para mitigar alguns dos efeitos negativos de caráter interno às indústrias causadas pelo aumento da variedade na customização em massa, tem sido o uso eficiente de plataformas de produtos como base para o processo de personalização, onde produtos personalizados tornam-se variantes de uma família com um alto grau de reutilização e utilização de parentesco entre as variantes individuais. A **plataforma de produto** pode ser definida como um conjunto de elementos comuns (peças, componentes, processos, etc.) que compartilham a tecnologia de núcleo subjacente como base na qual uma série de produtos derivados podem ser eficientemente desenvolvidos. A plataforma pode atender a variedade de maneira lateral (membros de uma mesma geração/família de produtos) e também a variedade evolutiva (gerações subsequentes/evolução da família) (Al GEDDAWY e El MARAGHY, 2011).

Uma das estratégias para a implementação do conceito de plataformas de produto nos sistemas de fabricação no modelo de customização em massa,

é o **método da modularização**, usado como uma ferramenta para dividir a estrutura do produto em unidades controláveis, e suas vantagens são descritas por Pahl e Beitz (1996), Ulrich e Tung (1991), Jespersen e Miller, (1995) e (Erixon, 1998). Estes autores acreditam que há sempre três pilares básicos por trás da adoção da modularidade: **a criação da variedade, a utilização de semelhanças e a redução das complexidades**. A modularidade pode ser compreendida de duas maneiras: **modularidade física**, gerada pela segregação de componentes que possuem características dimensionais, geométricas e topológicas (SIMPSON, et al, 2006); e **modularidade lógica**, compreendida de maneira abstrata sem constituição física e que pode organizar e armazenar informações e conceitos virtualmente (ELGARD e MILLER, 1998). Ambas podem ser compartilhadas e reorganizadas, gerando vantagens como a redução de custos, a terceirização da produção e a manutenção da unidade semântica.

A compreensão mais abstrata da modularidade é ainda reforçada pelo fato da modularização em um contexto industrial poder ser visto como a reutilização de recursos de engenharia. As empresas estão cada vez mais conscientes do uso do conhecimento como um recurso estratégico que pode ser gerido e utilizado. Uma parte importante do conhecimento da empresa é incorporada aos seus produtos, sendo que através da reutilização de módulos, o “Bom Conhecimento” é considerado uma poupança que significa tempo e dinheiro. E ainda, não é somente como um módulo físico finalizado e reutilizado que se obtém benefícios. Também chamado de reutilização intelectual dos estágios anteriores, como por exemplo a reutilização de especificações de engenharia, pode provocar os efeitos desejados. Este tipo de reutilização tange a fronteira entre a Gestão do Conhecimento e modularização tradicional (SANCHEZ e MAHONEYET, 1996). Os módulos que não são definidos pela presença física são soluções que, de acordo com uma linha de pensamento darwinista, provaram ser boas soluções para um determinado problema ao longo do tempo. **A descrição de um padrão de design encapsulada, carrega o conhecimento sobre o problema, o contexto e a solução**, pois eles contêm os estágios preliminares da solução final que ajuda o designer a estruturar e lidar com a tarefa (GAMMA, et al, 1995).

Este raciocínio, inspirado pela teoria evolucionista de Darwin, fundamentou a criação dos **algoritmos genéticos**, introduzidos por John Holland na década de 1960 e desenvolvidos por ele mesmo junto com seus alunos e colegas da Universidade de Michigan. Esses pioneiros tinham a ideia de que o processo de evolução poderia ser simulado e usado como uma ferramenta de otimização de problemas de engenharia. A abordagem geral neste mecanismo era evoluir uma população de possíveis soluções para um determinado problema projetual, através de operadores inspirados pela variação natural da genética e pela seleção natural (MITCHELL, 1998). Aperfeiçoados desde então, originaram os AE's – Algoritmos Evolucionários que apresentam como principais características a reprodução com herança genética, o caráter aleatório de variação em uma população de indivíduos e a aplicação do princípio da seleção natural para gerar as próximas gerações. Esta área de pesquisa foi denominada Computação Evolutiva, é composta por: AG's - Algoritmos Genéticos, EE's -Estratégias Evolutivas e PE - Programação Evolutiva (CELANI e De MARTINO, 2012).

Neste sentido, a Computação Evolutiva tem se apresentado como uma alternativa de apoio ao processo de projeto nas áreas da Arquitetura e do Design, em que o equacionamento de fatores pode representar a necessidade de exploração de um elevado número de possibilidades, onde o designer define inicialmente todos os possíveis dados do problema e especifica os requisitos obrigatórios e desejáveis para uma solução projetual ideal e em seguida os **diferentes requerimentos para a solução do problema são combinados e balanceados entre si**, produzindo estratégias para se obter uma solução ideal (CELANI e De MARTINO, 2012). O algoritmo evolutivo é definido como uma sequência lógica que possibilita a (re)**combinação** e **mutação** durante o processo de cruzamento de “cromossomos pais” (população inicial), sendo a troca de partes de dois ou mais; e a alteração aleatória aplicada sobre um deles, respectivamente. Cada geração de “filhos” é avaliada por uma função de avaliação (*fitness*) que contém todas as restrições necessárias do problema a ser resolvido, classificando cada indivíduo de acordo com o seu potencial. Em seguida, os operadores de seleção poderão identificar e selecionar os mais aptos para compor uma nova geração

(MICHALEWICZ, 1999). Exemplos do uso de algoritmos evolutivos na Arquitetura podem ser vistos em Rodrigues, et al. (2013) aplicado ao problema de organização espacial em plantas residenciais; (Ercan e Elias-Ozkan (2015), empregado na otimização geométrica em painéis de bloqueio parcial de irradiação solar em fachada de edificação. No Design, estão presentes no trabalho de Lee et al. (2011, 2015), Chau et. all (2004), em que concebem respectivamente, uma variante formal de um modelo de máquina fotográfica, e uma variante formal para a garrafa da Coca-Cola. Nestes trabalhos, os algoritmos evolutivos foram usados juntamente com a **modelagem paramétrica** e a **gramática de formas**.

A gramática de formas é definida pela associação de um **vocabulário** (conjunto de formas pré-estabelecidas, que combinadas possuem **relações espaciais**) a um conjunto de **regras** que determina como e onde os elementos deste vocabulário podem ser combinados para formar sistemas que, por sua vez, constituem **estruturas** de formas mais complexas, em uma mesma **linguagem** (STINY, 1980). Em projetos que buscam variantes formais, a linguagem estético-formal pré-estabelecida pelos elementos anteriores, é o fator de unidade com o novo membro, sendo assim, a modelagem paramétrica e a gramática de formas são usados como operadores que atuam nas transformações geométricas e nas relações topológicas, orientadas pela forma referencial inicial (Lee et al. 2011). Agarwal e Cagan (1998), usaram a gramática de formas capaz de gerar distintos modelos de cafeteiras elétricas, mas não abordaram a questão da conformidade do estilo a uma marca específica, ou seja, deram características semelhantes entre as variantes, mas não características distintas para permitir a diferenciação da marca. Já no trabalho de Chau (2002), há o desenvolvimento de uma estratégia de compreensão da gênese geométrica vinculada a identificação e manutenção da estética referencial de um produto, visando a coerência estilística entre os membros do conjunto. Em seu experimento foi utilizado um sabonete da marca Dove® como morfologia referencial para a criação da embalagem na versão do sabonete líquido. O objetivo do experimento foi usar a gramática da forma como método de transposição da morfologia do sabonete para a embalagem. Outros exemplos usando a gramática da forma como apoio de gênese

geométrica estão nos trabalhos de Pugliese e Cagan (2002) sobre variantes formais da motocicleta Harley-Davidson®, McCormark, Cagan e Vogel (2004) sobre variações estéticas do carro Buick®, e ainda no trabalho de (Chen et al. (2004) aplicado à manutenção estilística em uma família de produtos de higiene pessoal.

Porém, os projetos desenvolvidos unindo as potencialidades da Programação Genética, da Modelagem Paramétrica e da Gramática da Forma até o momento **não contemplam a comparação de similaridades entre variantes formais** aplicadas a distintos membros de uma família que compartilha uma mesma linguagem formal. Também **não foram encontradas ocorrências** de trabalhos que contemplassem um **método de decomposição e tradução de unidades e operações geométricas para o vocabulário genético** utilizado pela bioinformática. Portanto estas lacunas apresentam-se como uma oportunidade para investigação no presente trabalho.

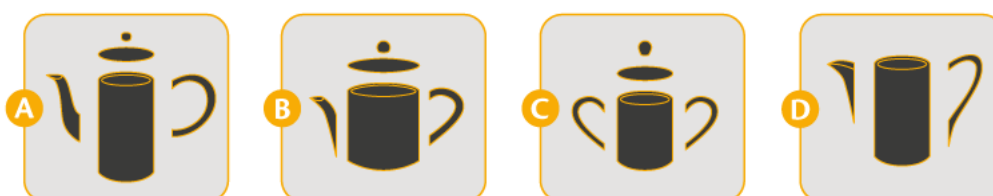
1.2 Delimitação do Tema

Em processo de projeto, a etapa de “Geração de Alternativas”, denominada etapa “Iluminação” no processo criativo, é o momento de gerar, desenvolver e avaliar e selecionar as soluções geradas em uma etapa chamada “Verificação”, que é definida por Löbach (2001), como fase em que ficam visíveis todas as ideias materializando-se através de desenhos e modelos preliminares que poderão ser comparados, possibilitando-se encontrar a solução mais próxima do atendimento dos critérios elaborados previamente. Para orientar a geração de alternativas, são usadas ferramentas e técnicas que podem ser classificadas em dois grupos: intuitivos e sistemáticos. Os métodos definidos como sistemáticos, como por exemplo a Matriz Morfológica, consiste em uma sequência lógica de ações que resultam em soluções alternativas para um determinado problema (BACK, et al. 2008). Ou seja, para cada parte do problema podemos ter mais de um princípio de solução o que gera por vezes inúmeras combinações possíveis e uma ampla massa de dados.

Neste caso, as novas tecnologias e os sistemas assistidos por computador (*Computer-Aided Design* - CAD) tem se mostrado como alternativa de apoio, pois permitem a construção de modelos computacionais capazes de auxiliar na tarefa de gerar e avaliar múltiplas soluções. Para tal se faz necessário implementar um algoritmo apropriado para cada tarefa, ou seja para as ações relacionadas à geração e seleção de alternativas no intuito de automatizar seus métodos que já possuem uma sistemática estruturada. No caso de desenvolvimento de família de produtos, onde variantes estético-formais são procuradas, observa-se a necessidade de **desenvolver uma estrutura de dados que traduza a linguagem geométrica euclidiana de uma composição formal para a linguagem computacional**, possibilitando-se assim a manipulação da composição das formas e posterior **avaliação de similaridade morfológica**.

O experimento realizado neste trabalho se delimita ainda, na utilização de formas cilíndricas isométricas geradas por **revolução**; e que usam a geometria do aspecto estético-formal como referencial semântico de unidade para composição da percepção de família, em razão de tais composições serem encontradas com ampla frequência em objetos do cotidiano como: louças, taças, garrafas; em embalagens de consumo como: laticínios, geleias e condimentos, produtos de higiene e limpeza; e aplicadas a bens de consumo como: eletrônicos, lâmpadas, etc. Eventualmente, como mostra a Figura 2, o corpo do objeto gerado por revolução possui componentes acessórios de acordo com seus requisitos funcionais, como: pegas, vertedores, tampas, entre outros.

Figura 2: Corpo e componentes acessórios



Fonte: Desenvolvido pela autora

Importante ressaltar que o escopo da presente pesquisa circunscreve a derivação formal do corpo de um objeto contenedor (correspondentes à superfícies de revolução), excluindo-se o tratamento de componentes acessórios, tais como: vertedores, pegas, bases, tampas, alças, etc.

1.3 Formulação do Problema

Como automatizar a geração de soluções no processo de projeto a partir dos requisitos estético-formais para composição de similaridades em famílias de produtos?

1.4 Hipótese

O uso das regras de transformação para estabelecer as similaridades estético-formais na composição de famílias de produtos, associadas às técnicas de modelagem paramétrica e aos algoritmos genéticos, permitem a automação da geração e seleção de alternativas no processo de projeto de família de produtos.

1.5 Objetivo

Propor um modelo generativo para a etapa de geração de alternativas de solução para o projeto de família de produtos, a partir de requisitos estético-formais, utilizando modelagem paramétrica e algoritmos genéticos.

1.6 Objetivos Específicos

- Identificar o estado da arte das técnicas e ferramentas utilizadas para estabelecer uma relação estético-forma em projeto de produtos;
- Selecionar uma estratégia geométrica para composição de formas tridimensionais, seus elementos e operadores, técnicas e mecanismos de geração;
- Elaborar um mecanismo baseado em um princípio natural (hereditariedade), que permita a derivação de uma forma seminal para os demais membros de uma família de produtos;
- Identificar as técnicas e ferramentas de análise de similaridade;
- Desenvolver a tradução da linguagem genética em geométrica e em seguida computacional;
- Estruturar um modelo computacional para ambientar a funcionalidade (plug-in) responsável pela geração sistemática e automatizada de soluções estético-formais similares para desenvolvimento de família de produtos;
- Verificar o modelo generativo através computacional (plug-in) implementado; Disponibilizá-lo para uso em desenvolvimento automatizado de família de produtos.

1.7 Justificativa

As empresas de produção em massa que geram e gerem alto número de variantes de produtos, organizam sua base operativa baseada no sistema plataforma – modularidade. Isto significa que a modularização é usada como uma ferramenta para quebrar a estrutura do produto em partes menores, ou seja, unidades controláveis (ERIXON, 1998). Baseado neste conceito, muitas empresas aumentam a semelhança entre produtos diferentes pela razão de possuírem bibliotecas de reutilização sob a forma de lista de peças preferidas, listas de peças mais usadas, desenvolvidas ou introduzidas em projetos anteriores e disponibilizados para projetos futuros, que os designers são incentivados a utilizar durante o processo de projeto (ELGARD e MILLER, 1998). Alexander (1964) afirma que o design de produtos, **exige que o designer possa assegurar, avaliar e selecionar uma grande variedade de soluções baseadas em uma ampla gama de informações - excedendo muitas vezes a capacidade cognitiva da mente humana**. Isto abre a necessidade de projetar processos e ferramentas capazes de lidar com tal complexidade, permitindo manusear os dados do problema atual e oferecer a possibilidade de inserir ou até mesmo partir de soluções prévias que constituem o patrimônio intelectual da empresa. Para Celani (2012) essas ferramentas devem ser fáceis de manipular e, além de dados numéricos, **devem fornecer *feedback* visual** para o designer, enquanto acelera o tempo de avaliação.

Os recentes avanços em softwares de modelagem e interfaces gráficas permitem aos projetistas construir procedimentos personalizados com a ajuda de ferramentas de projeto computacional para gerar e avaliar uma grande variedade de alternativas de projeto usando a modelagem paramétrica. Ainda assim, o número de variáveis que podem determinar um conjunto de soluções muitas vezes são conflitantes pois, ao equacionar fatores, é possível gerar mais de uma solução viável. Ou seja, para cada parte do problema podemos ter mais de um princípio de solução o que gera por vezes inúmeras combinações possíveis e uma ampla massa de dados. Permitir que o designer gere automaticamente uma grande variedade de soluções de projeto

alternativas é uma grande vantagem oferecida pela modelagem paramétrica no suporte a explorações de projeto geométrico (TURRIN et al, 2011). Associados aos algoritmos genéticos (AG's) que simulam a evolução e a seleção natural dos seres vivos tem se mostrado como alternativa de apoio, pois permitem a construção de modelos computacionais capazes de auxiliar na tarefa de gerar e avaliar múltiplas soluções (TEIXEIRA, 2016). Neste caso, a adoção dos algoritmos genéticos (AG's) associados à modelagem paramétrica justifica-se pela possibilidade de investigar, através de um amplo número de soluções, aqueles indivíduos que atendem de maneira mais satisfatória o equilíbrio entre requisitos e as restrições, além de “obter resultados não imaginados pelo projetista, otimizando os resultados e enriquecendo o processo projetual” (CELANI e DE MARTINO, 2012) A adoção do Algoritmo Genético (AG) se justifica ainda, pela semelhança de sua estrutura ao processo de projeto, onde parte-se de um problema projetual, operam-se possibilidades de soluções através de técnicas criativas e avaliam-se as alternativas aptas equacionando-se o atendimento dos requisitos.

Para atender o objetivo do presente trabalho, que consiste em automatizar a geração de alternativas de possibilidades estético-formais entre diferentes membros de uma família de produtos, foi adotada a gramática da forma, pois segundo Mitchell (2008), trata-se de um método reconhecido como uma boa ferramenta para **identificação da linguagem** de um determinado grupo de elementos.

Além disso, o desenvolvimento de técnicas e ferramentas implementadas através do uso de tecnologia, acelera e otimiza os processos vinculados ao desenvolvimento de projetos, **impactando positivamente na redução de prazos, otimização de recursos e economia no que tange a eliminação de investimentos** na verificação e testes com soluções que ao fim se mostram como inviáveis. Promover o processo sistemático e automatizado de soluções projetuais, viabiliza também a eficiência da gestão do conhecimento, pois mantém os seus registros e permite a catalogação histórica dos projetos. Isto fornece subsídios para o aperfeiçoamento das soluções partindo-se de uma base de dados consistida.

Por fim, a contribuição deste trabalho acrescenta conhecimento à área do Design com ênfase no uso da tecnologia, na ampliação da oferta de técnicas sistemáticas para composição de similaridades morfológicas em projetos de famílias de produtos, na exploração dos fenômenos da natureza e na adaptação dos seus princípios ao contexto de desenvolvimento de projetos de produtos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas as discussões dos autores em relação às variáveis do problema de pesquisa, realizada através de pesquisa bibliográfica e revisão de literatura. A pesquisa concentra-se em compreender os fatores que orientam o estabelecimento de uma configuração de estilo para um produto e sua repercussão na coerência estilística dos demais membros da família. Neste capítulo serão apresentados ainda o conhecimento consolidado sobre a composição da forma, as estratégias de manutenção de unidade formal no desenvolvimento de famílias de produtos e o atual estado da arte do uso das técnicas de gramática paramétrica associadas aos algoritmos genéticos aplicados ao contexto de suporte ao processo projeto de produto. Os capítulos foram divididos em: Projeto de Família de Produtos, Mecanismos e Operadores da Genética Natural, Princípios de Composição e Decomposição da Forma, Métodos Generativos de Projeto, Projetos Generativo usando Gramática da Forma, e a Computação Bio-Inspirada.

2.1 O Projeto de Família de Produtos

Uma família de produtos compreende a gama de produtos que as empresas que operam com ofertas destinadas a diferentes segmentos de mercado e diferentes tipos de aplicações, desenvolvem e produzem. A indústria pode criar a variedades de produtos de acordo com sua estratégia atendendo necessidades de clientes individualmente – produtos personalizados, atendendo necessidades de grupos de usuários – produtos especializados ou ainda atendendo necessidades comuns a um grande número de usuários – produtos de produção em massa. Independentemente da estratégia utilizada, a questão crucial é a de transformar as necessidades dos clientes em um plano de produto, que **pode servir como uma base para o** desenvolvimento de uma família de produtos (BART e BOYNTON, 1998). Para tanto, a indústria utiliza recursos e métodos capazes de auxiliar na composição de famílias que são compreendidos como princípios de projeto.

2.1.1 Princípios de projeto para famílias de produtos

Os princípios de projeto que orientam o desenvolvimento de famílias de produtos consistem em variedade e taxa de variação, que compreendem as funcionalidades individuais dos elementos da família; a gestão da coerência estilística, que mantém unidade entre os membros; e os conceitos de plataforma e arquitetura, que guiam o processo desde a concepção até a produção permitindo um racionalismo produtivo e colaborando para a manutenção da unidade formal (SANDERSON e UZUMERI,1997), (JESPERSEN e MILLER, 1995), (SIMPSON, et al, 2006).

2.1.1.1 Variedade em Família de Produtos

A estrutura de uma família de produtos é dividida de acordo com as necessidades (requisitos) dos clientes para um conjunto de dimensões independentes de variedade, que descrevem instruções de variedade para o usuário. Dentro de cada "dimensão da variedade" a funcionalidade de cada "variante" é especificada. As dimensões da variedade não descrevem todas as funcionalidades técnicas, mas estão limitadas a funcionalidades ligada à variedade percebida pelo usuário e são descritas pela seguinte terminologia (JESPERSEN e MILLER, 1995):

Dimensão da variedade: é um aspecto de um produto que pode ser variada. Uma dimensão de variedade é caracterizado por o conjunto de valores que pode ter.

Variante: descreve um produto com um valor definido dentro de uma dimensão da variedade. Uma variante está ligada a uma variedade de dimensão.

Para exemplificar, pode ser considerada uma família de produtos, que possui duas tensões de alimentação diferentes, 110V e 220V. Neste caso, a tensão de alimentação será a dimensão da variedade com as duas variantes de 110V e 220V.

2.1.1.2 Taxa de Variação em Famílias de Produtos

Pelo termo variedade, podemos compreender o número de diferentes membros de uma família existente ao mesmo tempo, já a taxa de variação corresponde às modificações de uma família ao longo do tempo. Assim, a família de produtos pode ser caracterizada pela sua variedade e taxa de variação, e pela justaposição dessas duas dimensões. Sanderson e Uzumeri (1997) estabeleceram em seu trabalho quatro distintos padrões evolutivos para produtos e famílias de produtos. São eles:

Commodity: (produtos de base) são caracterizados por baixa variedade e ritmo lento de mudança. São produtos onde a variedade ou mudança significativa não é oferecida ou porque ela não pode ser prevista, ou os clientes não estão dispostos a aceitá-lo, como no caso das matérias-primas de açúcar, energia elétrica, produtos químicos, etc.

Variedade intensiva: são as famílias de produtos caracterizadas pela alta variedade, porém baixa taxa de mudança, um padrão típico para os produtos relativamente maduros como as ferramentas manuais, lâmpadas, conjuntos de louças, etc.

Alteração intensiva: são as famílias de produtos caracterizados por uma baixa variedade, mas uma rápida taxa de mudança, ou seja, seguidamente produtos são introduzidos e cada geração é mais eficaz que o seu antecessor, deixando apenas uma variante por vez no mercado. As lâminas de barbear da Gillette® fornecem um exemplo de um produto intensivo de alterações, caso em que o fabricante está focado em trazer um fluxo contínuo de novas lâminas de barbear para o mercado, cada vez substituindo a versão antiga por uma mais recente ao invés de oferecer ao cliente uma grande variedade de escolha.

A família de produtos dinâmica: caracteriza-se tanto pela alta variedade e rápida taxa de mudança. Este padrão é cada vez mais percebido e explorado pela evolução tecnológica que aumenta a taxa de mudança e os princípios customização facilitam a criação de variedade como por exemplo, em telefones celulares, automóveis, computadores, roupas e calçados.

2.1.1.3 Coerência Estilística em Família de Produtos

Uma vez definida a variedade e evolução de uma família de produtos, a indústria busca planejar como esta variedade será tratada pela gestão da produção, pois a variedade pode ser útil e valiosa do ponto de vista mercadológico, mas internamente, se não bem planejada, significa alto custo pois normalmente reduz a uniformização através de uma gama de produtos. **Além disto, há a preocupação com a aderência visual do(s) novo(s) membro(s) em relação ao grupo, denominada gestão de coerência estilística que é uma das questões críticas em design de produto.** As dificuldades surgem pela necessidade de manter a imagem de marca, introduzindo novos recursos de design para os produtos, pois caso o novo estilo do produto seja modificado radicalmente, então ele pode não ser consistente com a imagem de marca perante a percepção dos consumidores (ELGARD e MILLER, 1998).

O estilo é definido por Baxter (1994), como “qualidade de um produto que provoca a sua atração visual [...] e que é uma parte tão importante quanto os aspectos funcionais”. Lobach (2001) traduz o estilo como a função estética de um produto, sendo este um fator de decisão de compra quando as funções práticas entre os produtos concorrentes são similares. Para Gomes Filho (2003) o estilo adotado no desenvolvimento de produtos subdivide-se em:

Estética do objeto: que é o resultado da aparência do objeto, sendo concernente aos sinais e as características formais propriamente ditas do produto, referindo-se a adoção de um determinado partido estético-formal (por exemplo: formas orgânicas, geométricas ou combinadas, possuindo eventuais adornos, padrões cromáticos e acabamentos) e por sua vez subordinadas ao estilo sendo os seus atributos usados na organização visual do objeto.

Valor Estético: Refere-se aos sistemas de normas socioculturais de pessoas ou grupos sociais, que contribuem com parcela de influência na aparência do objeto, citando como exemplo as diferenças de valores culturais e econômicos entre pessoas ou grupos que vivem nos grandes centros urbanos

versus aqueles que vivem na sua periferia, afetando a educação visual nos diferentes modos de percepção dos objetos.

Baxter (1994) diz que o estilo deve ser direcionado para oportunidades e isto significa que há certas restrições, exatamente como acontece em outras fases do desenvolvimento do produto, sendo que os fatores condicionantes do estilo referem-se ao cenário comercial onde os produtos serão introduzidos e podem ser classificados da seguinte maneira:

Antecessores do Produto: Se o novo produto for uma reestilização de um produto já existente, é importante preservar a identidade visual do produto anterior, com o intuito de favorecer o reconhecimento por parte do consumidor. Neste caso, **os antecessores do produto precisam ser estudados, para se determinar os aspectos do estilo que precisam ser preservadas** no sentido de não perder o contato com os seus consumidores tradicionais;

Marca ou Identidade da Empresa: A preservação da marca ou identidade da empresa também fornece segurança aos consumidores. Se o consumidor já comprou produtos com esta marca da empresa, a identificação do novo produto com a mesma marca pode atrair a sua confiança. Produtos da mesma linha podem apresentar características comuns, **sendo que as vezes o próprio formato pode identificar o produto**. Um produto pode ser identificado pelas suas proporções, linhas orgânicas ou linhas inclinadas características. **Portanto, estudar as características que determinam a identificação da linha de produtos da empresa é uma parte importante do planejamento do produto.**

Em alguns casos, o elemento estético-formal de um produto é reconhecido como sinônimo de uma determinada marca. A Coca-Cola mantém uma identidade visual formal para a embalagem de seu produto (Fig. 3), que ao longo do tempo foi mantida pois transformou-se em dos valores de marketing da empresa, contribuindo para a construção e fortalecimento de sua marca (KOTLER, 2008).

Figura 3: Evolução Morfológica da Coca-Cola



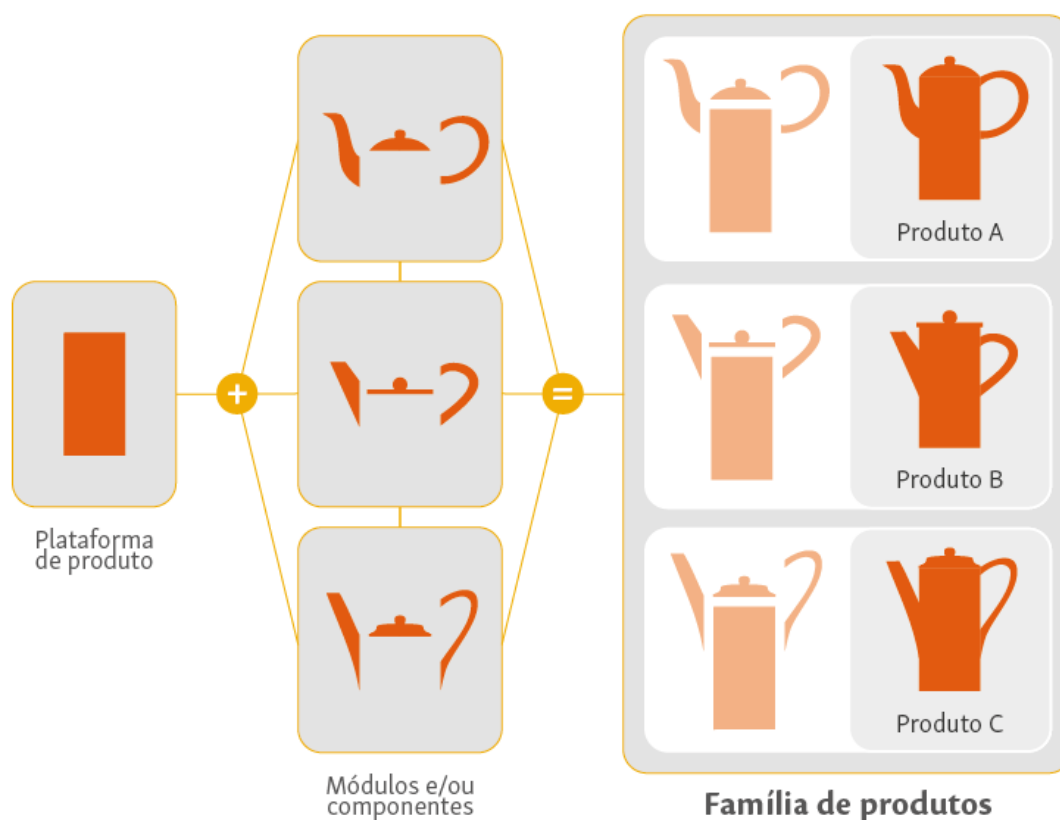
Fonte: <http://www.portaldomarketing.net.br>

Conforme o exemplo anterior a coerência estilística pode continuar a desenvolver-se em um processo evolutivo e, portanto, ser o principal elemento reconhecível por várias gerações de produtos subsequentes. Para tal, internamente, a indústria administra as variantes de uma família através do conceito denominado plataforma-módulo, onde um elemento matriz (domínio) pode agregar-se a diferentes módulos gerando variantes. O reconhecimento dos módulos em diferentes composições é interpretado pelo usuário como o agente unificador da família e conseqüente reconhecimento da marca (PINE, 1993).

2.1.1.4 Plataforma em Família de Produtos

No contexto de customização em massa, a produção se organiza sobre a manufatura, utilizando o raciocínio da produção de produtos seriados e padronizados (Pine, 1993). Este é um modelo de produção que parte da combinação de uma plataforma de produto com componentes (Fig. 4), que podem ser incorporados ou combinados de maneira ágil para atender à necessidades específicas. As variadas composições entre a plataforma de produtos e os módulos disponibilizam uma maior quantidade de alternativas de produtos (ECHEVESTE e FETTERMANN, 2011).

Figura 4: Exemplo Ilustrado de Combinação de uma Plataforma



Fonte: Adaptado de Echeveste e Fettermann (2011)

2.1.1.5 Arquitetura em Família de Produtos

Ulrich e Eppinger (1995) definem arquitetura como o esquema pelo qual se organizam elementos constitutivos de um produto, como funcionalmente os elementos são organizados, como estes elementos são alocados para as unidades físicas e como as unidades interagem. A arquitetura é o resultado de um processo de design deliberada destinada a utilização de semelhanças entre uma gama de produtos. A seguir é possível observar (Fig. 5) um exemplo de interação entre os membros de uma mesma família, através do uso compositivo dos elementos individuais de um mesmo componente (pés da mesa e do gaveteiro) possibilitando a racionalização na indústria e a unidade formal do ponto de vista do usuário além de favorecer a interface entre os membros da família.

Figura 5: Interação entre uma Família de Produtos



Fonte: <http://www.tokstok.com.br>

2.1.2 Modularidade

A origem da palavra módulo vem do latim *modulus* que significa medida de comprimento. Ela foi descrita por Vitruvius em sua obra “*Ten Books on Architecture*”, sobre leis de proporção e simetria em templos e colunas. O “módulo” era uma medida padrão que assegurava proporções corretas (ROUTIO, 1998). Durante o período da Bauhaus (1919 – 1933), Walter Gropius introduziu o raciocínio modular combinado à padronização, ao pensamento de racionalização do processo produtivo. Nesta época foi concebido o “*Baukasten*” que se tratava de um módulo funcional que poderia estar associado à diversos conceitos construtivos como: Cozinha, Sala, Dormitório, etc. Cada “*Baukasten*” (módulo) compreendia uma determinada função, e as diferentes combinações dos módulos atendiam aos conceitos. (DROSTE, 1990).

Borowski (1961), descreveu a natureza de diferentes tipos de construção usando o conceito de blocos, incluindo orientações sobre a concepção de um sistema de construção usando blocos como princípio. Os blocos como solução física eram tipicamente elementos de máquinas ou interfaces com relações geométricas. A diferença entre o conceito de bloco e o conceito de módulo é percebida por Elgard e Miller (1998), como algo autônomo ou não-autônomo.

Por exemplo, o conjunto sala de jantar composto pelo sistema mesa-cadeiras, pode variar a forma e o número de cadeiras, sendo que cada cadeira pode ser considerada como um módulo. Porém cada cadeira é composta por um conjunto de blocos construtivos – pés, assento, encosto – que por sua vez não estabelecem de maneira independente, uma determinada função – o sentar.

Já Pahl e Beitz (1996), associaram diretamente a ideia de função à módulos e definiram diferentes categorias baseando-se em uma gama de funções (básico, auxiliar, especial, adaptativo). Neste caso um módulo é uma estratégia física para cumprir uma determinada função. Se um elemento não se refere a qualquer uma destas funções, ele é definido como não-módulo. Neste sentido, os autores evitam transformar em módulo todo e qualquer elemento, pelo contrário, eles organizam categorias de acordo com os seguintes critérios: tipo de função, importância, complexidade, combinação, resolução e aplicação. Porém as relações de interface não são abordadas em seus estudos.

Ulrich e Tung (1991), também associam modularidade à funcionalidade, mas ao contrário de Pahl e Beitz (1996) focam em diferentes tipos de estruturas modulares. Argumentam que a modularidade para os produtos **requer similaridade entre as estruturas física e funcional**, bem como o **gerenciamento das interfaces entre os módulos**, que em design de produtos não é trivial, pois não é suficiente resolver as questões formais (geométricas), uma vez que a energia e o material, por exemplo, também criam importantes variações entre produtos modulados.

Para compreender a modularidade é necessário distinguir entre estruturas de produtos modulares e integrais onde a distinção é baseada na correlação entre as unidades funcionais e estruturais no produto, derivados de (ULRICH e TUNG, 1991) e (JESPERSEN e MILLER, 1995).

- em uma **estrutura modular, a estrutura é composta por unidades autônomas**, ou seja, unidades funcionais independentes, com interfaces padronizadas de acordo com a definição de sistema a que pertencem. Substituindo-se um módulo por outro cria-se uma nova variante do produto.

- na **estrutura integral**, as funções são compartilhadas, ou seja, várias funções são atribuídas a cada unidade estrutural e onde a criação de uma dimensão de variedade afeta outras dimensões da variedade.

Para Elgard e Miller (1998) as empresas buscam a modularização como um meio para equilibrar uma ampla variedade de produtos , com uma produção racional. **Ao mesmo tempo a modularidade é um princípio estruturante que aumenta a clareza, reduz a complexidade, oferece flexibilidade e tem algumas vantagens organizacionais, permitindo o trabalho em tarefas paralelas e resolvidos de forma independente.**

2.1.2.1 Tipos de Modularidade

Diferentes estratégias podem ser usadas para gerir a modularização. Pine (1993) definiu seis diferentes categorias de interação entre componentes. São eles:

COMPARTILHAMENTO (Modularidade ao compartilhar componentes) : este tipo de modularidade (Fig. 6) ocorre nos casos em que o mesmo componente básico é utilizado em diferentes famílias de produtos. Este tipo de modularidade permite a produção a baixo custo de uma grande variedade de produtos e serviços (PINE, 1993).

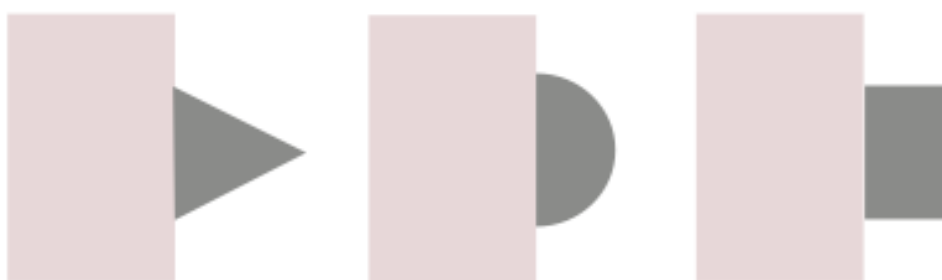
Figura 6: Exemplo Ilustrado de Compartilhamento



Fonte: Adaptado de Pine (1993)

PERMUTA (Modularidade ao permutar componentes): é a habilidade de permutar duas ou mais alternativas de componentes sobre a mesma região de um produto básico, criando assim diferentes variantes do produto pertencentes à família de produtos (Fig. 7). Este método é o complemento da modularidade obtida com o compartilhamento de componentes (PINE, 1993).

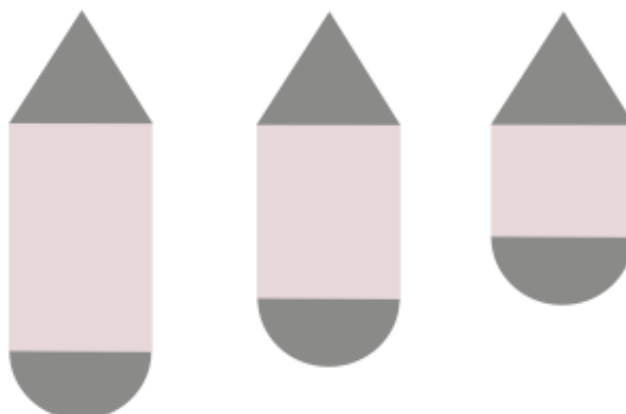
Figura 7: Exemplo Ilustrado de Permuta



Fonte: Adaptado de Pine (1993)

ADAPTAÇÃO (Modularidade ao adaptar para obter a variedade): Este tipo de modularidade é aplicada quando se utiliza um ou mais componentes padronizados (Fig. 8) conectados com um ou mais componentes adicionais variáveis (PINE, 1993).

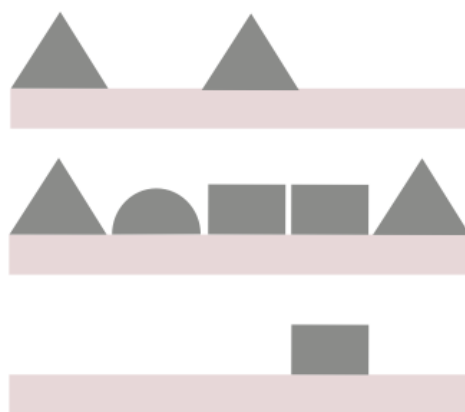
Figura 8: Exemplo Ilustrado de Adaptação



Fonte: Adaptado de Pine (1993)

BARRAMENTO (Modularidade através de barramento): esse tipo de modularidade é empregado quando se faz uso de um componente básico, que possua duas ou mais interfaces de união (Fig. 9), para receber por acoplamento um ou mais componentes adicionais variáveis (PINE, 1993).

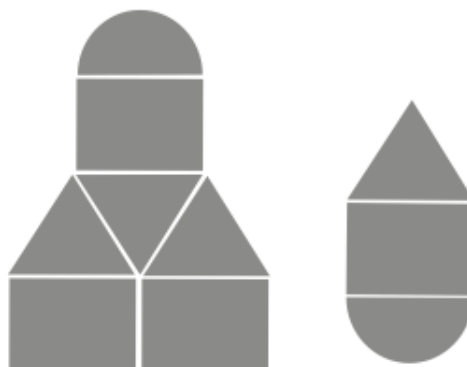
Figura 9: Exemplo Ilustrado de Barramento



Fonte: Adaptado de Pine (1993)

SECCIONAL (Modularidade por arranjo Seccional): é caracterizada pela presença de uma coleção de tipos de componentes (Fig. 10), que podem ser unidos de forma arbitrária às suas interfaces (PINE, 1993).

Figura 10: Exemplo Ilustrado de Seccionalidade



Fonte: Adaptado de Pine (1993)

Além de possibilitar a criação de variedade, a modularidade também é comumente usada para reduzir a complexidade de uma tarefa de design. A divisão em unidades funcionais pode tornar o produto mais fácil de ser compreendido e permite aos envolvidos no projeto o **trabalho de forma independente e em paralelo em diferentes aspectos do design**. Para os produtos imaturos, onde o conhecimento do mercado ainda é limitado e as dimensões necessárias da variedade não são totalmente compreendidas, a modularidade pode ainda **apoiar possíveis rápidas adaptações do produto**, quando as necessidades dos usuários são melhor compreendidas (ELGARD e MILLER, 1998).

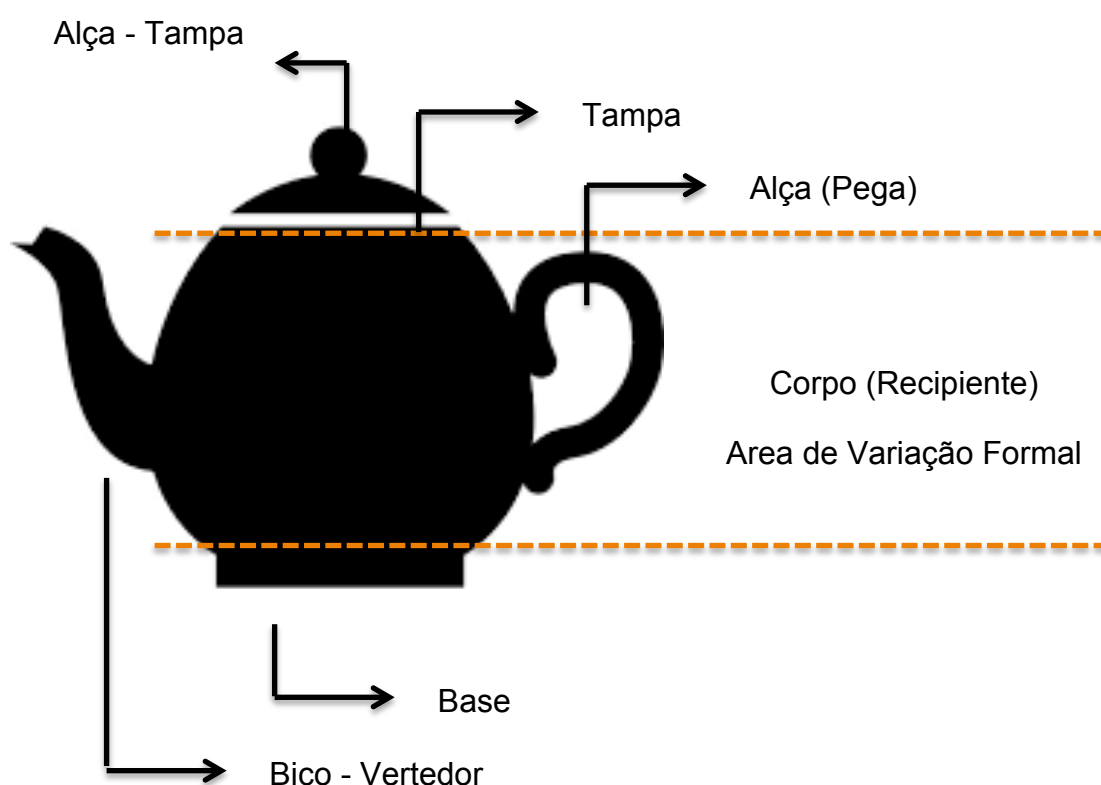
2.1.2.2 Vantagens do Conceito da Modularidade

Conforme visto anteriormente, na primeira metade do século XX, produtos fisicamente desenvolvidos compreendiam a evolução da indústria. Para tal, o raciocínio de projetos modulares teve grande impacto na compreensão do conceito de modularidade e suas racionalizações no processo fabril. Porém, com o advento dos produtos não físicos como os softwares, o conceito de modularidade se fortaleceu, colaborando na compreensão do módulo como atendimento de uma função desassociada do aspecto físico, evoluindo para além de blocos com determinadas geometrias. O módulo passou a ser compreendido como uma unidade que possui autonomia, necessidade de previsão de interfaces, reaproveitamento e consequente otimização do trabalho (ELGARD e MILLER, 1998).

Além disso, há os aspectos relacionados às Interfaces e aos meios de interação dos indivíduos do conjunto para com seus elementos compositivos funcionais. Esta interação corresponde a descrever a relação de entrada e saída entre módulos, sendo que estes somente serão permutados, compartilhados, etc., se tiverem interfaces e interações compatíveis. A compatibilidade é assegurada pela definição de uma norma de sistema comum para interfaces e interações (ULRICH e TUNG, 1991). Por exemplo, os

módulos do brinquedo LEGO® **têm uma interface padronizada - mas nenhuma interação.** É uma interface considerada muito simples. Normalmente, as interfaces possuem uma complexidade maior a ser gerida, pois são os limites dos módulos de frente para o outro. Algumas categorias relevantes de interfaces são: a) as interfaces funcionais que se seguem a atribuição de funcionalidade. b) Interfaces mecânicas, como conectores, tomadas, superfícies, etc. c) Interfaces eléctricas, como a comunicação, sinais, etc (ELGARD e MILLER,1998). Para Ulrich e Tung (1991), o êxito dos sistemas estruturados modularmente, consiste na compreensão bem definida dos elementos constituintes e de suas relações, organizando-se o entendimento das partes (módulos) em relação ao todo (sistema), e, portanto tornando-se útil na caracterização do conceito de família de produtos. A Figura 11 ilustra um esquema de elementos de interface em um bule.

Figura 11: Exemplo Ilustrado de Elementos de Interface



Fonte: Desenvolvido pela autora

Pode ser observado que apesar do corpo do objeto ter uma liberdade de variação formal, os pontos de interação com os módulos compositivos devem ser observados para que continuem permitindo o uso dos princípios da modularidade. Assim, uma variação formal do corpo pode continuar usando a mesma tampa, pega, vertedor, etc., dependendo da natureza do produto.

2.1.3 A Relação Parte-Todo

A compreensão de um conjunto como sistema, ou seja, o uso de relações parte-todo está vinculada a muitas áreas da vida cotidiana, sendo um processo proeminente na cognição e determinante na linguagem natural. Como tal, a teoria e a utilização das relações parte-todo são estudados através de um conjunto de campos, sob muitas perspectivas diferentes. A Relação Parte-Todo é o objeto de teoria formal: a Mereologia, cujo o objetivo é estabelecer os princípios gerais **subjacentes às relações entre um todo e suas partes constituintes, assim como a teoria dos conjuntos é uma tentativa de estabelecer os princípios subjacentes às relações entre uma classe e seus membros constituintes**. No entanto, ao contrário de teoria dos conjuntos, a Mereologia não está comprometida com a existência de entidades abstratas; o todo pode ser tão concreto como as partes (VARZI, 1996). Fiorini (2014) organizou o tema em quatro grandes áreas de contribuições separadas em : **cognição, linguagem, lógica e ontologia, e ciências computacionais**.

Cognitivamente, Fiorini (2014) **postula que o processamento global (holístico) tende a concentrar-se nas semelhanças, enquanto que o processamento local (estrutural) foca nas diferenças**. Ou seja, os objetos possuem similaridades nas formas e são distintos nos detalhes. Em seu trabalho é citada uma experiência realizada apresentando-se imagens de cães e lobos para um grupo de pessoas. A princípio ambos são compreendidos como animais de uma única espécie (processamento global) em decorrência da sua morfologia. Em seguida são reconhecidas as diferenças através da observação dos detalhes (processamento local).

Já na **ontologia a relação parte/todo é compreendida como uma relação**, ou seja, **há um todo estabelecido a partir de uma relação entre as partes**. Centrando-se na relação entre as partes, obtém-se o caráter do todo (FIORINI, 2014). De maneira exemplificada ao contexto de processo de projeto pode-se considerar a ênfase no conjunto, ou seja, ao se projetar o trio garfo, faca e colher (partes), as decisões projetuais serão a partir dos atributos do conjunto, no caso talheres (todo).

No mundo natural, o reconhecimento de parte/todo vincula-se ao conceito de membro/família estando subordinada perceptivelmente pelo reconhecimento de características genéticas congruentes promovidas pela hereditariedade (LESK, 2008). As características visuais aparentes denominadas de fenótipo, conceito que se relaciona com as características externas, morfológicas, fisiológicas e comportamentais dos indivíduos, ou seja, o fenótipo determina a aparência do indivíduo, resultante da interação do meio e de seu conjunto de genes (genótipo). Exemplos de fenótipo são o formato dos olhos, a tonalidade da pele, cor e textura do cabelo, dentre outros. O conceito de genótipo corresponde às **características internas** à constituição genética do indivíduo, ou seja, o conjunto de cromossomos ou sequência de genes herdados dos pais, aos quais se somado as influências ambientais, determinarão seu fenótipo (características externas) (BURNS, 1986). Dessa forma, o genótipo representa a **constituição gênica** de cada pessoa, composto dos genes maternos e paternos, e sua representação é baseada nos **genes dominantes**, ou **genes recessivos**. Tais definições são tema da Genética que é a área de concentração da Biologia responsável pelo estudo da hereditariedade (ou herança biológica), que se define como a transmissão de características de pais para filhos ao longo das gerações (LESK, 2008).

2.2 Mecanismos e Operadores da Genética Natural

De acordo com Burns (1986), foram os estudos de Gregor Mendel (1822 – 1884), um naturalista e matemático austríaco responsável pelo experimento que procurou explicar as características hereditárias, conhecidas como: as Leis

de Mendel, que permitiram compreender as estruturas e as operações que explicam o mecanismo da transmissão hereditária de características durante os ciclos das gerações. Mendel realizou cruzamentos entre diversas linhagens de ervilhas consideradas "puras". O que determinava a "pureza" da linhagem era a manutenção de características como a cor da flor, a posição da flor no caule, a cor da semente, a textura da semente, a forma da vagem, a cor da vagem e a altura da planta após seis gerações. Após identificar as linhagens puras, Mendel realizou cruzamentos de polinização cruzada. O procedimento consistia em retirar pólen de uma planta com semente amarela e depositá-lo sob o estigma de outra planta com sementes verdes. Assim, foi sendo realizado diversos tipos de cruzamentos com objetivo de verificar como as características eram herdadas ao longo das gerações. Se percebeu ao fim que linhagens diferentes, com os diferentes atributos escolhidos, sempre geram sementes puras e sem alterações ao longo das gerações. Ou seja, plantas de sementes amarelas (descendentes da primeira geração, denominada de geração F1) sempre produziam 100% dos seus descendentes com sementes amarelas. Como todas as sementes geradas eram amarelas, Mendel realizou a autofecundação entre elas. Na nova linhagem, geração F2, surgiram sementes amarelas e verdes, na proporção 3:1 (amarelas:verdes). Com isso, Mendel concluiu que a cor das sementes (fenótipo) era determinada por dois fatores. Um fator era dominante e condicionava sementes amarelas, o outro era recessivo e determinava sementes verdes, ou seja, cada caráter é determinado por um par de fatores que se separam na formação dos gametas, indo um fator do par para cada gameta (genótipo), que é, portanto, puro. Através dos experimentos concluiu ainda que as diferenças de uma característica são herdadas independentemente das diferenças em outras características, formulando assim a primeira e segunda Lei de Mendel respectivamente.

Portanto, o processo de evolução altera as distribuições de genótipos e fenótipos em gerações sucessivas. O genótipo correspondente às informações genéticas de um organismo, a sequência do seu genoma. Já as características que podem ser observadas de forma macroscópica ou bioquímica, compreendem o fenótipo. O **genótipo** é herdado de um dos pais, ou de ambos,

e **está sujeito a modificações por mutações ou transferência lateral de material genético**. O fenótipo depende do genótipo, que controla o desenvolvimento do organismo sob a influência do seu ambiente. A assimetria entre o genótipo e o fenótipo é considerado o motor da evolução (LESK, 2008).

A maior parte da vida consiste em organismos distintos. Uma **população** é um grupo de organismos semelhantes que interagem: uma população de organismos sexualmente reprodutivos pode cruzar entre si; os indivíduos, em todas as populações, competem por recursos. A **evolução** altera a composição e a distribuição do conjunto de genes e fenótipos em uma população. Em uma população, podem surgir indivíduos com uma variedade de genótipos, apresentando uma variedade correspondente de fenótipos (BURNS, 1986). A **seleção natural** – reprodução acentuada dos indivíduos “mais aptos” – é o mecanismo mais importante da evolução (LESK, 2008).

2.2.1 Operações Genéticas

Conforme visto anteriormente, a hereditariedade é um processo que envolve operações genéticas descritas por Lesk (2008), como:

Mutações: tais como substituições pontuais, inserções e deleções, e transposições.

Recombinações: pode unir diferentes loci ou separá-los. A recombinação em um gene pode criar um novo alelo. A recombinação entre genes pode alterar a relação entre genes e elementos regulatórios.

Fluxo Gênico: a partir da mistura de populações, ou da transferência lateral de genes entre espécies.

2.2.2 Estruturas (Elementos) Genéticas

As operações acima ocorrem através da manipulação de elementos de estruturação genética, divididos em:

Cromossomos: Os cromossomos são formados de moléculas de DNA, que contém sequências de nucleotídeos, e por proteínas que organizam sua estrutura. O número de cromossomos varia de uma espécie para outra, é representado por n . A mosca *Drosophila*, por exemplo, possui 8 ($2n$) cromossomos nas células do corpo e 4 (n) nos gametas, já na espécie humana $2n = 46$ e nos gametas $n=23$ (LESK, 2008).

Cromossomos Homólogos: Cada cromossomo presente no espermatozoide encontrará correspondência nos cromossomos do óvulo. Em outras palavras, os cromossomos de cada gameta são homólogos, uma vez que possuem genes que determinam certa característica, organizados na mesma sequência em cada um deles (LESK, 2008)..

Genes: São esses fragmentos sequenciais do DNA que são denominados de genes. Os genes são responsáveis por codificar informações que irão determinar a produção de proteínas que atuarão no desenvolvimento das características de cada ser vivo (LESK, 2008)..

Genes Alelos: Os genes que são responsáveis pela determinação de certa característica, por exemplo, cor do pelo nos coelhos, possuem variações, determinando características diferentes, por exemplo pelo marrom ou branco. Esses genes são chamados de alelos (LESK, 2008).

Alelos Múltiplos: Geralmente os seres diploides possuem dois alelos de cada gene (um que recebeu da mãe e outro do pai). Entretanto, muitos genes podem ter 3 ou mais alelos, sendo assim alelos múltiplos (LESK, 2008)..

Homozigotos e Heterozigotos: Um ser vivo que possui dois alelos iguais de um gene é chamado de homozigoto, quando possui os dois genes alelos diferentes é chamado heterozigoto (LESK, 2008).

Genes Dominantes e Recessivos: Quando um indivíduo heterozigótico possui um gene alelo dominante ele se expressa determinando uma certa característica. Quando o gene alelo não se expressa nesse indivíduo, ele é um gene recessivo (LESK, 2008).

A estrutura e consequente nomenclatura biológica se baseia na ideia de que os organismos vivos são divididos em unidades denominadas espécies – grupos de organismos similares com um reservatório genético comum. Linnaeus, um naturalista sueco, classificou os organismos vivos de acordo com uma hierarquia: Reino, Filo, Classe, Ordem, Família, Gênero e Espécie. Originalmente, o sistema de Linnaeus era apenas uma classificação baseada nas similaridades observadas. Com a descoberta da evolução, percebeu-se que esse sistema refletia basicamente a ancestralidade biológica. Hoje, as **características derivadas de um ancestral comum são chamadas de homólogas** e as **características aparentemente similares que podem ter surgido de maneira independente são chamadas de evolução convergente**. Exemplo são: asas de uma águia e os braços de um ser humano; e asas de uma águia e asas de uma abelha respectivamente (BURNS, 1986).

2.2.3 Analogia Biológica

Bassala (2001) em seu livro sobre a evolução da tecnologia faz menção aos **aspectos hereditários e evolucionários dos objetos** e utensílios do cotidiano, questionando se os talheres do ocidente e os hashis do oriente possuem um ancestral comum, no caso, os gravetos rudimentares que eram usados para manipular os alimentos enquanto eram cozidos em alta temperatura. Na sua questão, o autor não relaciona a evolução dos utensílios a uma árvore genealógica do mundo natural, mas estabelece um raciocínio inicial de que a evolução dos produtos e processos sofrem influências diretas e indiretas do ambiente e muitos fatores são responsáveis pelas suas mudanças formais, principalmente as que tangem o aspecto de aperfeiçoamento funcional.

Griffiths (2001), diz que há uma semelhança óbvia entre o processo de evolução como Darwin o descreveu e o processo pelo qual o criador de animais seleciona as plantas com a mais alta produção dentre a população atual e as usa como genitores da geração seguinte. Se as características que causam maior produtividade são herdáveis, então a geração seguinte deve

produzir uma colheita maior. Assim, como há semelhança óbvia com o processo de geração e seleção de alternativas que buscam desenvolver variantes estético-formais a partir de uma forma seminal mantendo a uniformidade formal do conjunto. Afinal, se há características geométricas que identificam um produto, estas devem ser transmitidas para os novos membros da família. Assim, o reconhecimento do objeto (indivíduo) como membro de uma família de produtos (população) se torna mais eficiente.

Associando-se este raciocínio ao conceito de Analogia Biológica, definida por Mak & Shu (2004), como uma categoria de abstração que examina e descreve as formas biológicas e seus processos correspondentes, e usa apenas o princípio do fenômeno para desenvolver algo similar, ou seja, não usa diretamente o fenômeno, nem o aplica em algo que reproduza, mas apenas considera o princípio para solução de problemas, **se pode estabelecer uma conexão entre o princípio de hereditariedade e evolução da natureza à necessidade de estabelecer relação de similaridade formal -“fenótipos” entre membros de uma mesma categoria conceitual de produtos.**

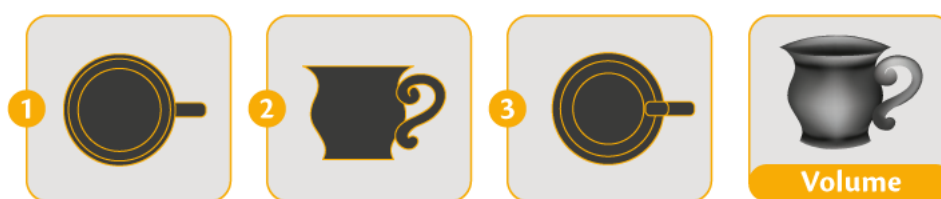
Ao se vincular a identificação de similaridades entre a composição e a decomposição das estruturas e mecanismos que formam uma família no contexto natural com as estruturas e mecanismos que formam uma família no contexto projetual, **têm-se a necessidade de organizar as estruturas correspondentes (elementos e operações) no contexto não natural. Para elencar os elementos e operações que atuarão na composição dos genótipos**, faz-se necessário a investigação dos princípios de composição e decomposição da forma.

2.3 Princípios de Composição e Decomposição da Forma

A forma pode ser definida como os limites externos da matéria de que é constituído um corpo e que confere a este, uma configuração (GOMES FILHO, 2008). A configuração é definida por Arnheim (1995), como o resultado de uma interação entre o objeto físico e o meio de luz agindo como transmissor de informações, condições e imagens que prevalecem no sistema nervoso do

observador que é, de acordo com Gomes Filho (2008), em parte, determinada pela própria experiência visual. Uma forma criada pode ser baseada na realidade – reconhecível – ou abstrata – irreconhecível. Uma forma pode ser criada para transmitir um significado, uma mensagem, ou pode ser meramente decorativa. Os termos forma e formato embora muitas vezes sejam vistas como sinônimos são distintos, pois formato (Figura 12.1,12.2 e 12.3) é uma área definida por um contorno, enquanto forma apresenta volume. Uma forma pode ter muitos formatos (WONG, 2010).

Figura 12: Formato e Volume



Fonte: Desenvolvido pela autora

A forma e o conteúdo são ponto de partida para qualquer projeto, sendo que na estética é costume distingui-los, mas metafisicamente, a forma é não-sensível, é “intelectual”, “conceitual” etc., entende-se usualmente por forma o estilo, a maneira, a linguagem etc. (GOMES FILHO, 2009). O cérebro processa a forma em primeiro lugar em uma tentativa de reconhecê-la com base na experiência do passado. Por esta razão, **a forma é a variável de design mais intimamente ligado com a utilização final do objeto** (CHA e GERO, 2006).

2.3.1 Princípios da Forma

A composição da forma é a combinação ordenada dos elementos, sendo que a composição e a organização são aspectos do mesmo problema. A composição é o resultado da melhor organização dos elementos e suas relações. A composição pode ser dividida em dois esquemas: formal e pictórico, sendo respectivamente o esquema estrutural e a forma plástica. A função do esquema formal é fixar a arquitetura geral do artefato, a orientação

das suas linhas de força e a distribuição e o equilíbrio das massas (RIBEIRO, 2003). Para Gomes Filho (2003), as bases conceituais da aparência estético-formal dizem respeito e relacionam-se aos atributos do exterior e do estilo na organização visual do produto (composição tridimensional), sendo determinantes para a percepção sensorial do objeto, sobretudo durante a experiência de uso, pois relacionam-se indiretamente com a função simbólica das bases conceituais ergonômicas e dimensões semióticas.

2.3.1.1 Composição Tridimensional através de Superfícies de Revolução

As superfícies de revolução são geradas por retas ou curvas que são denominadas geratrizes e não sofrem deformações ao longo do seu movimento de rotação. Assim, o plano gerado pela revolução da reta perpendicular ao eixo de simetria compreende a modelagem de uma composição tridimensional (RICCA, 2011). Na Figura 13, é possível observar o passo-a-passo de uma composição tridimensional construída a partir do estudo de uma geratriz composta por arcos geométricos concordantes. Os arcos estabelecem a direção e a dimensão das curvas, em seguida ocorre o movimento de revolução que promove a forma tridimensional do corpo (Objeto).

Figura 13: Exemplo de Composição de Geratriz a partir de arcos geométricos



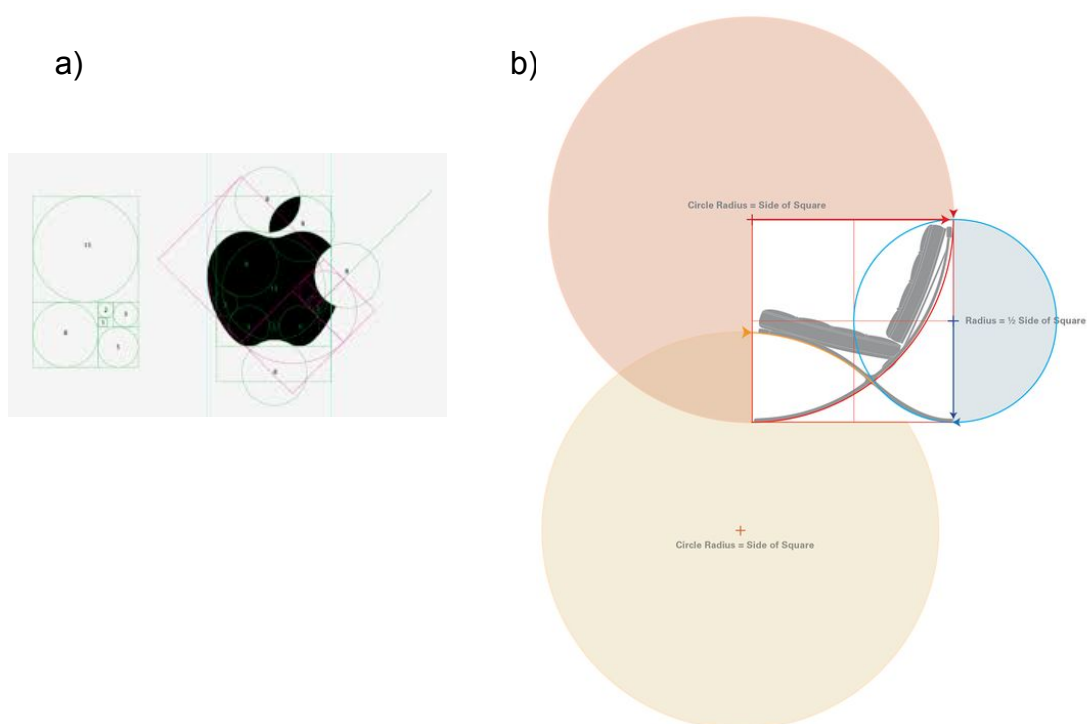
Fonte: Desenvolvido pela autora

Os arcos estabelecem a direção e a dimensão das curvas, em seguida ocorre o movimento de revolução que promove a forma tridimensional do corpo (Objeto). Uma vez estabelecida a forma, pode-se adicionar os elementos formais acessórios conforme a função como por exemplo: vertedores e pegas.

2.3.1.2 Concordância

Os arcos geométricos são curvas formadas por arcos de circunferência que concordam com duas semi retas com seus centros alinhados de forma perpendicular. Essa configuração é bastante comum em muitas áreas do desenho técnico, pois é frequentemente utilizada no projeto de todo o tipo, bem como na representação de arredondamentos entre retas e planos (MUNIZ e MANZOLI, 2015). Na Figura 14 é possível observar dois exemplos de projetos construídos através da concordância de arcos geométricos. A Figura 10.a apresenta o desenvolvimento do projeto bidimensional da logomarca da empresa Apple®; e a Figura 10.b o projeto tridimensional da “Barcelona Chair” de Mies Van Der Rohe’s.

Figura 14: Exemplo de Composição a partir de Arcos Geométricos

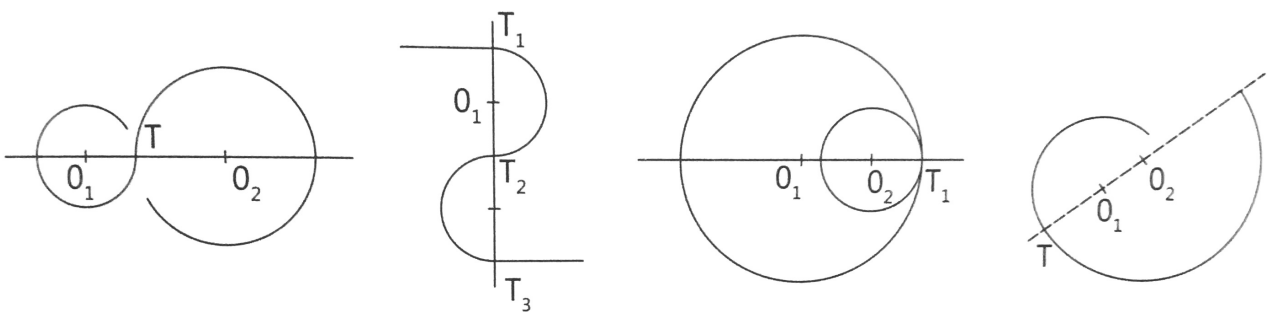


Fonte: www.geometrymath.com/design

Exemplos de Concordância

Uma reta e um arco concordam se o centro do arco estiver perpendicular à reta no ponto de tangência. Dois arcos estarão em concordância quando seus centros estiverem alinhados com o ponto de tangência (Fig.15).

Figura 15: Exemplo de concordância

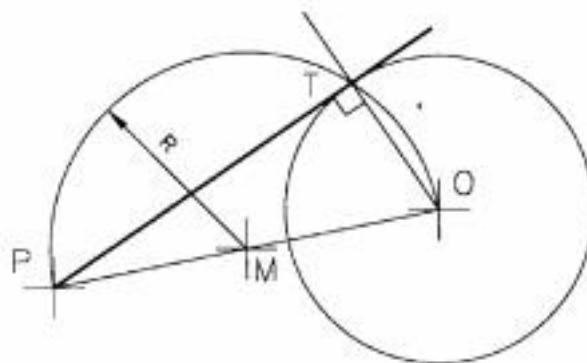


Fonte: MUNIZ e MANZOLI (2015)

Concordância de Arco com Reta

Tendo conhecimento do raio do arco, da reta e do ponto de tangência (Fig.16).

Figura 16: Exemplo de Concordância entre Arco e Reta

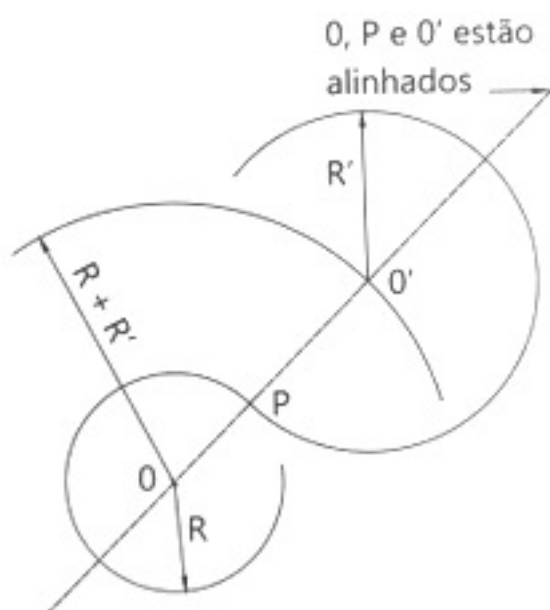


Fonte: MUNIZ e MANZOLI (2015)

Concordância de Arco com Arco

Tendo conhecimento do raio, do centro de um dos arcos, do raio do ponto de concordância ou tangencia do outro arco (Fig. 17).

Figura 17: Exemplo de Concordância entre dois Arcos



A composição formal tridimensional, atende ainda aos princípios de composição responsáveis pela determinação da relação entre as partes.

2.3.2 Princípios de Composição

Para se obter uma configuração é necessário, além da estruturação das qualidades formais desejadas, definir a estratégia geométrica, a relação de proporção e também observar a intenção da percepção visual procurada. Para tal, alguns princípios orientam o processo projetual.

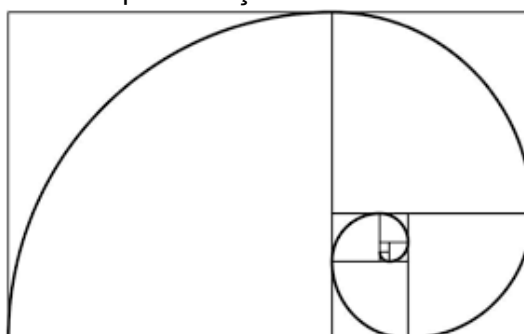
2.3.2.1 Geometrias

Gruber (2011) diz que desde o início da investigação científica, a geometria da natureza tem sido o objeto de descoberta e que leis de proporção e simetria já foram investigados e descritos na Grécia antiga. Um cânone de medições já existia na alta cultura do Egito e Vitruvius (cerca de 80 – 10 AC) dizia que toda a construção deve obedecer a três categorias: a solidez (firmitas), a utilidade (utilitas) e a beleza (venustas). As teorias da harmonia desempenham um papel importante em todas as artes aplicadas e no design são frequentemente adotadas como no caso da série de Fibonacci e do retângulo áureo.

Série de Fibonacci:

Na antiguidade, um matemático chamado Leonardo Pisa, que ficou conhecido como Fibonacci, propôs a sequência numérica (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, ...). A sequência tem a segunda lei de formação: cada elemento, a partir do terceiro, é obtido somando-se os dois anteriores. Desde então, muitos matemáticos, além do próprio Fibonacci, dedicam-se ao estudo da sequência proposta, e ao longo do tempo foram encontradas inúmeras aplicações para ela no desenvolvimento de modelos explicativos de fenômenos naturais. Em sua composição geométrica, a partir de dois quadrados de lado 1, podemos obter um retângulo de lados 2 e 1. Ao adicionar a esse retângulo um quadrado de lado 2, é obtido um novo retângulo 3x2. Em seguida, ao adicionar um quadrado de lado 3, é obtido um retângulo 5x3 (Fig. 18). Os lados dos quadrados adicionados para determinar os retângulos formam a sequência de Fibonacci (GRUBER, 2011).

Figura 18: Representação da Série de Fibonacci

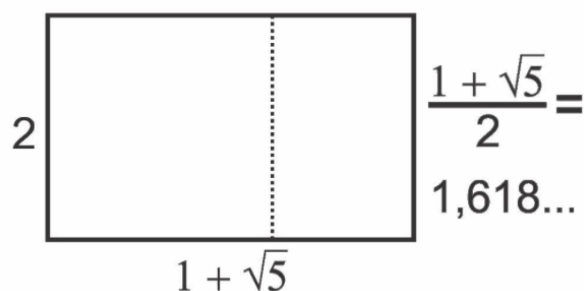


Fonte: Gruber (2011)

Retângulo Áureo:

A secção de ouro é uma proporção da divisão de uma linha de uma forma que a secção mais pequena está relacionado com a secção maior na mesma proporção que a secção é maior de toda a linha (Fig. 19). A seção áurea tem por séculos sido usada na arquitetura como uma ferramenta para a concepção de proporções harmônicas, e tem sido considerada uma proporção divina. A diferença entre dois números consecutivos da série de Fibonacci é aproximadamente $\varphi = 0,618034 \dots$. O valor limite é $\varphi = (\sqrt{5} - 1) / 2$. Ele pode ser aproximado por 5/8 (LIDWELL, 2010).

Figura 19: Representação do Retângulo Áureo



Fonte: Lidwell (2010)

Teorias da proporção visam padrões de medidas para a criação de modelos harmônicos. Acredita-se que seja possível alcançar os modelos particularmente bem proporcionados e estéticos, considerando-se as medições da natureza, sendo que integração com as medidas humanas promete boa adaptação ao corpo humano e, portanto, uma boa usabilidade (GRUBER, 2011).

2.3.2.2 Leis da Gestalt

As leis da gestalt, divulgadas a partir década de 1930, foram reunidas a partir de experiências e observações de psicólogos dedicados ao estudo da percepção. Estas leis constroem importantes fundamentos para os projetos e

produzem impressões perceptivas gerais e de acordo com Bürdeck (2002) “podem ser observadas em objeto de design bi ou tridimensional, especialmente nas funções estético-formais ou nas funções informacionais.” Algumas leis aplicadas em projeto de produto são:

Unificação:

Pode ser percebida na composição quando não existem elementos discordantes, ficando garantida com a subordinação do desenvolvimento do tema ao motivo principal (RIBEIRO, 2003). A unificação (Fig. 20) da forma consiste na igualdade ou na semelhança dos estímulos produzidos pelo campo visual. A unificação se verifica quando os princípios de harmonia e equilíbrio visual e, sobretudo, **a coerência do estilo formal das partes ou todo estão presentes num objeto ou numa composição** (GOMES FILHO, 2008).

Figura 20: Representação da Unificação



Fonte: Adaptado de Gomes Filho (2009)

Segregação:

Segregação significa a capacidade perceptiva de separar, identificar, evidenciar, notar ou destacar unidades, em um todo compositivo ou em partes deste todo, dentro de relações formais, dimensionais, de posicionamento (Fig.21). Para efeito de leitura visual, pode-se também estabelecer níveis de segregação. Por exemplo, identificando-se apenas as unidades principais de um todo mais complexo, deste que seja suficiente para o objetivo desejado de análise e interpretação visual da forma do objeto (GOMES FILHO, 2009).

Figura 21: Representação da Segregação



Fonte: Adaptado de Gomes Filho (2009)

Fechamento:

O fator de fechamento estabelece ou concorre para a formação das unidades. As forças de organização da forma dirigem-se espontaneamente para uma ordem espacial que tende à formação de unidades em todos fechados (Fig. 22). Obtém-se a sensação de fechamento visual da forma pela continuidade em uma ordem estrutural definida, ou seja, por meio de agrupamento de elementos de maneira a constituir uma figura total mais fechada ou mais completa (GOMES FILHO, 2009).

Figura 22: Representação de Fechamento



Fonte: Adaptado de Gomes Filho (2009)

Continuidade:

A continuidade, ou continuação, define-se como a impressão visual de como as partes se sucedem por meio da organização perceptiva da forma de modo coerente (Fig. 23), sem quebras ou interrupções (descontinuidades) na sua trajetória ou na sua fluidez visual (GOMES FILHO, 2009).

Figura 23: Representação de Continuidade



Fonte: Adaptado de Gomes Filho (2009)

Proximidade:

Elementos ópticos próximos uns dos outros tendem a ser vistos juntos e, por conseguinte, a constituírem um todo ou unidades dentro do todo (Fig. 24). Em condições iguais os estímulos mais próximos entre si, seja por forma, cor, tamanho, textura, brilho, peso, direção e localização, terão maior tendência a ser agrupados e a constituir unidades (GOMES FILHO, 2009).

Figura 24: Representação da Proximidade

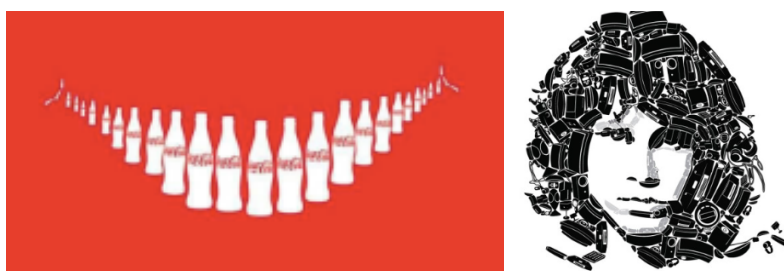


Fonte: Adaptado de Gomes Filho (2009)

Semelhança:

A igualdade de forma e de cor desperta também a tendência de se construir unidades, isto é, de estabelecer agrupamentos de partes semelhantes (Fig. 25). Em condições iguais, os estímulos mais semelhantes entre si, seja por forma, cor, tamanho, peso, direção e localização, terão maior tendência de ser agrupados, a constituir unidades. Em condições iguais, os estímulos originados por semelhança e em maior proximidade também terão maior tendência a serem agrupados, a constituírem unidade (GOMES FILHO, 2009).

Figura 25: Representação da Semelhança



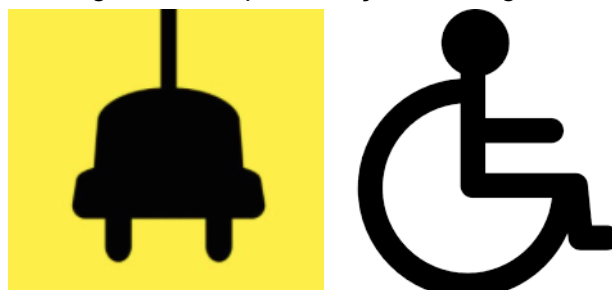
Fonte: Adaptado de Gomes Filho (2009)

Pregnância:

Um objeto com alta pregnância é um objeto que tende espontaneamente para uma estrutura mais simples, mais equilibrada, mais homogênea e mais regular (Fig. 26). Apresenta um máximo de harmonia, unificação, clareza formal e um mínimo de complicação visual na organização de suas partes ou unidades compositivas (GOMES FILHO, 2009).

Além das leis da Gestalt, Gomes Filho(2009) e Ribeiro (2003) apontam categorias conceituais que têm por finalidade funcionar como técnicas visuais aplicadas, ou seja, no apoio da organização formal e das estratégias compositivas.

Figura 26: Representação da Pregnância



Fonte: Adaptado de Gomes Filho (2009)

2.3.2.3 Categorias Conceituais

As categorias conceituais estão classificadas como:

Harmonia:

A harmonia diz respeito à **disposição formal bem organizada e proporcional no todo ou entre as partes de um todo**. Na harmonia plena, predominam os fatores de equilíbrio, de ordem e de regularidade visual inscritos no objeto ou na composição, possibilitando geralmente, uma leitura simples e clara. É em síntese, o resultado de uma perfeita articulação visual na integração e coerência formal das unidades ou partes daquilo que é apresentado, daquilo que é visto.” (GOMES FILHO, 2009) É a unidade sem violações, com correspondência das partes e proporção conveniente. A harmonia se estabelece por linha e forma, tamanho, ideia e cor (RIBEIRO, 2003).

Harmonia – Ordem:

A harmonia por ordem acontece quando se produz concordâncias e uniformidades entre as unidades que compõem as partes do objeto como um conjunto. Obtém-se ordem pela presença de relações ordenadas naquilo que é visto ou, ainda, por compatibilidade de linguagens formais. Ou seja, **quando não existem alterações ou conflitos formais no padrão ou no estilo visual do objeto** (GOMES FILHO, 2009).

Simplicidade:

É obtido pela eliminação de todo elemento supérfluo. A maior porcentagem de componentes provoca no observador um maior esforço visual. Consegue-se assim maior ordem, e maior concentração da atenção. Quanto maior a quantidade de focos de atenção em uma composição, mais difícil torna-se a captação visual do conteúdo. Uma só unidade tem uma grande força e impacto visual (GOMES FILHO, 2009).

Proporção:

Os elementos devem ser combinados com um sentido de ordem e unidade e de forma que cada um seja parte integrante do todo. O tamanho e peso de cada elemento devem estar em equilíbrio com o tamanho e forma a composição. O peso e o valor total de um elemento têm de estar em harmonia com o espaço que ocupam. A proporção pode ser orientada por normas geométricas baseadas na construção da forma natural (RIBEIRO, 2003).

O desenvolvimento de uma família de produtos, deve considerar as leis da Gestalt e as categorias conceituais individualmente para cada membro e também considera-los no planejamento do conjunto, pois fornecem subsídios visuais formais para o reconhecimento do todo através dos operadores de unificação. No presente trabalho a ênfase está na coerência estilística da família, portanto a investigação concentra-se no reconhecimento da similaridade morfológica.

2.3.3 Similaridade

As formas podem ser semelhantes sem ser idênticas. Se não forem idênticas, não se encontram em repetição, estão em relação de similaridade. Aspectos de similaridade podem ser facilmente encontrados na natureza. As folhas de uma árvore, as árvores de uma floresta, os grãos de areia em uma praia, etc. **A similaridade não tem a regularidade rígida da repetição, mas mantém consideravelmente o sentido da regularidade** (GOMES FILHO, 2009).

2.3.3.1 Similaridade de Unidade de Forma

Para Wong (2010) a similaridade de unidades de forma em um desenho geralmente se refere à similaridade de formatos. No interior de uma estrutura de repetição, os tamanhos de unidades de formas também tem de ser semelhantes. Como no caso da repetição, a similaridade deve ser considerada separadamente com relação a cada um dos elementos visuais e relacionais. **O**

formato é sempre o elemento principal no estabelecimento de uma relação de similaridade, porque formas dificilmente podem ser consideradas similares se forem semelhantes em tamanho, cor e textura, porém diferentes em formato .

É necessário considerar que o grau de similaridade de formato pode ser bastante flexível. A figura A pode parecer bastante diferente da figura B, mas em contraste com a figura C, as figuras A e B possuem alguma relação de similaridade. Quão amplo ou estreito este grau de similaridade deve ser é determinado pelo designer. Quando é estreito, as unidades de forma semelhantes podem parecer quase repetitivas. Quando amplo, as unidades de forma semelhantes são vistas mais como formas individuais, apenas vagamente relacionadas uma à outra WONG (2010).

2.3.3.2 Similaridade de Formato

Wong (2010), diz que a similaridade de formato não significa simplesmente que as formas parecem ser mais ou menos as mesmas aos nossos olhos. Algumas vezes, a similaridade pode ser reconhecida quando as formas pertencem todas a uma mesma classificação e estão relacionadas umas às outras não tanto visualmente como talvez psicologicamente. A similaridade de formato pode ser criada por um dos seguintes modos:

Associação

As formas são associadas umas às outras porque podem ser agrupadas de acordo com seu tipo, sua família, seu significado ou sua função. O âmbito da similaridade aqui é particularmente flexível. Por exemplo, os alfabetos de um único tipo e peso definitivamente se assemelham, porém podemos expandir esta gama a fim de incluir todos os alfabetos, independentemente de tipo ou peso (Fig. 27).

Figura 27: Exemplo Ilustrado de Associação



Fonte: Elaborado pela autora

Imperfeição

Podemos começar com um formato que é considerado como um formato ideal. Este formato ideal não aparece no desenho de alternativas, apenas as suas variações imperfeitas. Isto pode ser obtido de diversas maneiras. O formato ideal pode ser desfigurado, transformado, mutilado, recortado ou quebrado (Fig. 28).

Figura 28: Exemplo Ilustrado de Imperfeição



Fonte: Elaborado pela autora

Distorção Espacial

Um disco redondo, se girado no espaço, parecerá elíptico. Todas as formas podem ser giradas da mesma maneira e podem ser quebradas ou torcidas, resultando em uma grande variedade de distorções espaciais (Fig. 29).

Figura 29: Exemplo Ilustrado de Distorção Espacial



Fonte: Elaborado pela autora

União e Subtração

Uma forma pode ser composta por duas menores que são unidas ou pode ser obtida pela subtração de uma forma menor de uma forma maior. As múltiplas maneiras em que as duas formas componentes estão relacionadas produzem uma cadeia de unidades de forma com similaridade (Fig.30). Se permitirmos que os formatos e os tamanhos das formas componentes variem, o âmbito de unidades de forma com similaridade se torna ainda mais extenso.

Figura 30: Exemplo Ilustrado de União e Subtração

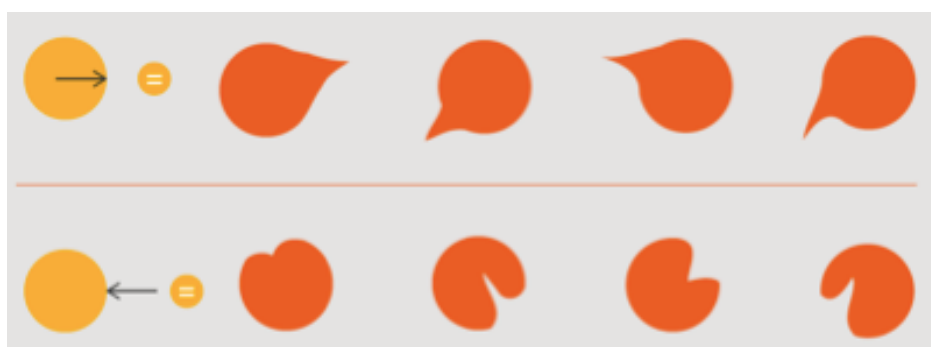


Fonte: Elaborado pela autora

Tensão e Compressão

Uma forma pode ser esticada (por uma força interna que empurra seu contorno para fora) ou apertada (por uma força externa que pressiona seu contorno para dentro), resultando em uma gama de unidades de forma com similaridade. Isto pode ser facilmente visualizado se imaginarmos a forma como algo elástico, sujeito à compressão e tensão (Fig. 31).

Figura 31: Exemplo Ilustrado de Tensão e Compressão



Fonte: Elaborado pela autora

2.3.3.3 Morfologia e Coerência Formal

Bonziepe (1975), afirma que a coerência formal se fundamenta no uso de elementos iguais e similares, geometricamente descritos, tanto nos caso de coerência intrafigural (interna) de um produto como na coerência interfigural de um grupo de produtos (Fig. 32), cada um de acordo com a constituição do sistema. A relevância e a análise das relações sistêmicas entre elementos iguais ou similares entra no âmbito da teoria da simetria.

Figura 32: Coerência Intra e Interfigural em Família de Produtos



Fonte: Elaborado pela Autora

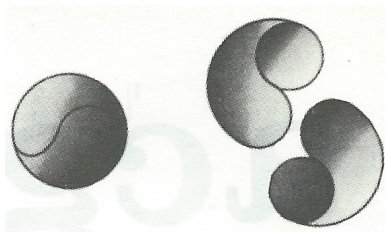
O objetivo desta teoria é o estudo dos fenômenos morfológicos considerados, respeitando-se as seguintes condições:

- Deve existir a repetição de elementos capazes de constituir uma configuração;
- Deve existir entre os elementos uma relação de igualdade e semelhança;
- Deve elencar-se um princípio generativo que determina a posição preferencial dos elementos que constituem um todo.

As relações de simetrias dividem-se em:

Isometria: Se consideram isomórficos aqueles elementos que possuem a mesma forma e a mesma dimensão (Fig. 33).

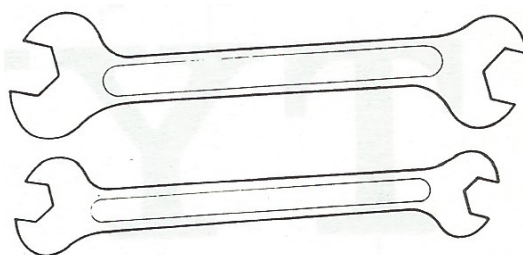
Figura 33: Ilustração de Composição por Isometria



Fonte: Bonsiepe (1975)

Homeometria: Se consideram homeomórficos aqueles elementos que tem a mesma forma porém dimensões variadas (Fig. 34).

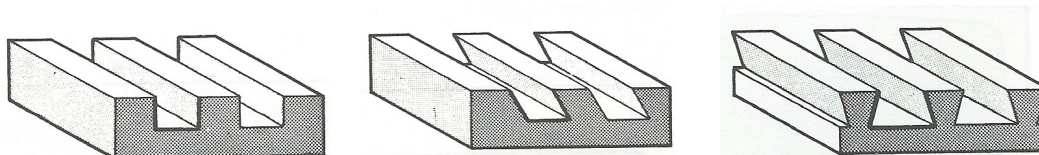
Figura 34: Ilustração de Composição por Homeometria



Fonte: Bonsiepe (1975)

Singenometria: Se consideram singenomórficos aqueles elementos que são deformados de maneira afim e projetiva (Fig. 35).

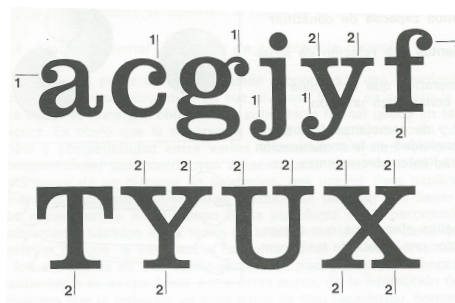
Figura 35: Ilustração de Composição por Singenometria



Fonte: Bonsiepe (1975)

Catametria: Se consideram catamórficos aqueles elementos não são congruentes nem afins, porém estão ligados por uma relação interfigural comum (Fig. 36).

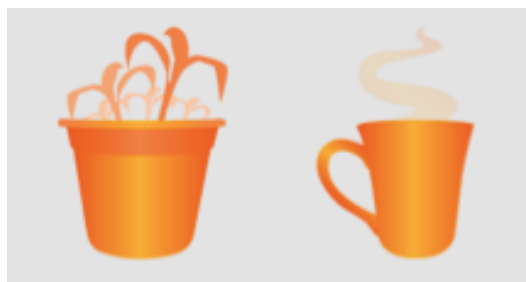
Figura 36: Ilustração de Composição por Catametria



Fonte: Bonsiepe (1975)

Heterometria: Se consideram heteromórficos aqueles elementos que não possuem uma relação interfigural, mas intrafigural (Fig. 37).

Figura 37: Ilustração de Composição por Heterometria



Fonte: Adaptado de Bonsiepe (1975)

Ametria: Se consideram amórficos aqueles elementos que não possuem relação interfigural ou intrafigural, embora componham uma categoria conceitual (Fig. 38).

Figura 38: Ilustração de Composição por Ametria



Fonte: Adaptado de Bonsiepe (1975)

2.3.3.4 Forma e Similaridade: A manipulação através de Tecnologias Computacionais

O conhecimento adquirido em projetos anteriores, e o aprendido promovido e captado a partir de artefatos já existentes, desempenha um papel importante nos processos de design. Ele funciona como uma fonte para a derivação de modelos, orientando o processo de design e permitindo que o designer e as ferramentas computacionais possam avaliar os resultados do projeto. O reconhecimento deste conhecimento em design de objetos existentes e sua representação são importantes para apoiar procedimentos de projeto baseados em computador, bem como para a atividade de projeto humano. Padrões formais são reconhecidos em termos de repetições de semelhanças, bem como repetições das mesmas relações ou formas (CHA e GERO, 2006).

2.3.3.5 Padrões formais como Conhecimento de Design

Os padrões formais muitas vezes encapsulam o conhecimento de design que aparece no desenho existente. Os padrões são generalizados a partir de um conjunto de objetos pertencentes a uma classe. Em objetos complexos, pode haver muitos conjuntos específicos independentes de sub-elementos que se repetem e dispostos em determinadas maneiras. Os padrões são representações desses pequenos blocos e identificam claramente uma síntese de primitivas. Eles ajudam designers e computadores a compreender e interpretar o design. Padrões como pequenas totalidades são reconhecidos e trabalham como peças para o conjunto geral. Padrões que são boas soluções para certos problemas e contextos podem ser aplicados em outras posições. Padrões representam conhecimento formal abstrato para objetos, portanto, é possível transferir os padrões de um domínio de um projeto para o outro (CHA e GERO, 2006).

2.3.3.6 Padrões Formativos

Formas similares podem aparecer em um objeto ou uma classe de objetos várias vezes e eles estão dispostos em determinadas maneiras. Um conjunto de elementos de forma semelhantes repetidos, especifica uma configuração. Uma configuração estruturada é considerada como um padrão formativo e podem ser primitivas ou de grupos (CHA e GERO, 2006).

Forma primitivas

Uma forma é composta por um conjunto de subformas e suas relações (Stiny, 1976). Os relacionamentos são regras de composição de formas em formas de agrupamento. Formas que não podem ser decompostos em subformas são formas primitivas, de entre estes, quadrados, círculos e triângulos equiláteros são considerados como formas primitivas puros (CHA e GERO, 2006).

Formas de grupo

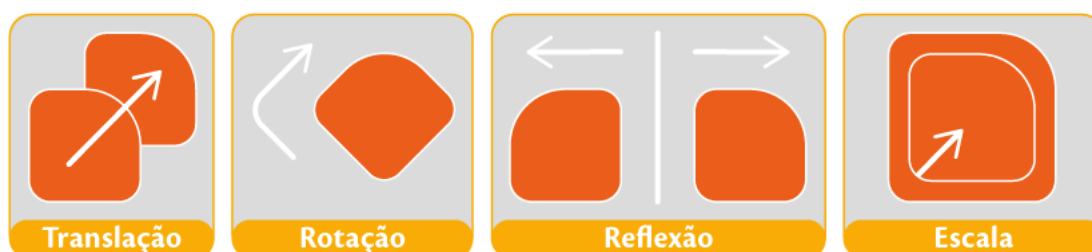
Formas são agrupados visualmente em termos de suas propriedades e relacionamentos, tais como a proximidade, similaridade, fechamento, boa continuação, simetria (Arnheim, 1954; Kohler, 1930; Wertheimer, 1945). Formas primitivas congruentes são agrupadas juntas e emergem uma forma de grupo com base nas leis da Gestalt. Além disso, algumas formas de grupo congruentes são compostas em forma de grupo superior. Subformas, sejam formas primitivas ou formas de grupo, podem ser incorporadas em outras subformas (CHA e GERO, 2006).

2.3.3.7 Relações espaciais e representação

As relações espaciais e suas representações, funcionam como operadores de manipulação das formas e dos arranjos formais. Apoiam a orientação, a posição e o dimensionamento.

Relações de Transformação Isométricas: transformações isométricas são transformações fechadas que transformam uma forma em outra forma, sem perder as propriedades (Fig. 39). As relações de transformação isométricas são as relações espaciais mais fundamentais sobre as quais todas as representações de forma, como a topologia, a semântica da forma e padrões, pode ser fundamentada. Estas são as relações entre formas congruentes. Existem quatro tipos de transformações isométricas: translação, reflexão, rotação e escala.

Figura 39: Ilustração de Transformações Isométricas



Fonte: Adaptado de CHA e Gero (2006)

Relações de Transformação Paramétricas: transformações paramétricas são transformações que atuam a partir dos parâmetros geométricos de uma forma (Fig. 40), como ângulos, posição de vértices e dimensões, entre outros. (STINY, 1976).

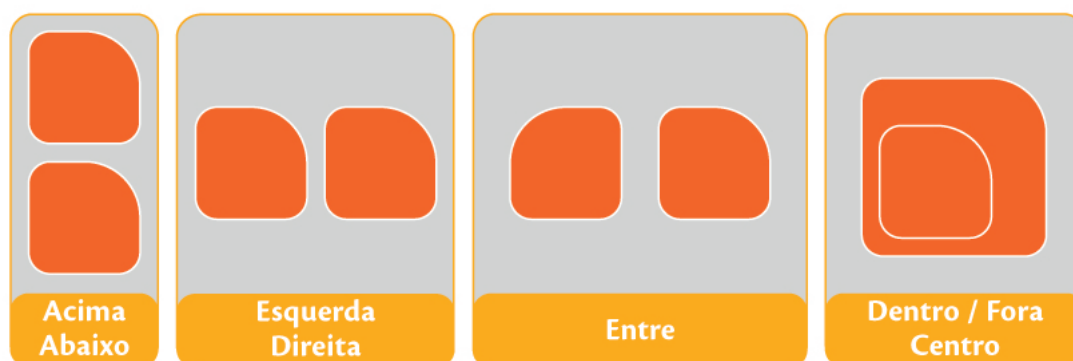
Figura 40: Ilustração de Transformação Paramétrica



Fonte: Adaptado de CHA e Gero (2006)

Relações Topológicas: As relações topológicas especificam as posições relativas de formas, tais como a frente, parte superior, inferior, esquerda, direita, e assim por diante (Fig. 41). Por exemplo, "um triângulo está à esquerda da praça", e "um triângulo está em frente à praça", onde "esquerda" e "em frente" são predicados topológicos e "praça" é uma referência.

Figura 41: Ilustração de Relação Topológica



Fonte: Adaptado de CHA e Gero (2006)

Inter-Relações das Formas: As formas podem se encontrar de inúmeras maneiras, sendo que cada tipo de inter-relação produz diferentes efeitos espaciais, classificadas por Wong (2010), como:

- (a) **Separação:** Duas formas permanecem separadas uma da outra, embora possam estar próximas.
- (b) **Contato:** Se aproximarmos duas formas, estas começam a se tocar. O espaço contínuo que as mantém separadas é rompido.
- (c) **Superposição:** Se aproximarmos ainda mais duas formas, uma cruza sobre a outra e parece estar sobre ela, cobrindo uma porção que parece estar por baixo.
- (d) **Interpenetração:** Uma forma pode ser estar em parte uma sobre a outra, mas não há nenhuma relação evidente do tipo em cima-embaixo entre elas. Os contornos de ambas permanecem inteiramente visíveis.
- (e) **União:** As duas formas são unidas e se tornam uma forma nova, maior. Ambas perdem uma parte de seus contornos quando estão em união.

(f) **Subtração:** Quando uma forma invisível cruza uma visível, o resultado é a subtração. A porção da forma visível que é coberta pela invisível também se torna invisível. A subtração pode ser considerada como uma superposição de uma forma negativa em uma positiva.

(g) **Interseção:** Somente onde as duas formas se cruzam é visível. Uma forma nova, menor, emerge como resultado da interseção.

(h) **Coincidência:** Ocorre quando as formas se coincidem.

2.3.3.8 Similaridade em formas e arranjos formais

De acordo com Vosniadou e Ortony (1989), existem dois tipos de similaridade, **semelhança superficial** e **semelhança profunda**. A similaridade de superfície é cognitivamente primitiva e bem definida, e pode ser usado como um construtor para explicar outras funções psicológicas como a categorização (RIPS,1989). A similaridade profunda é uma semelhança que diz respeito a propriedades mais centrais, de núcleo de conceitos. Gentner (1989) faz uma distinção entre os atributos de objetos e as relações. A similaridade superfície é com base em atributos de objetos compartilhados e semelhança estrutural é a semelhança ao nível da estrutura relacional. Com base nestes dois tipos de semelhanças, mais tipos de semelhanças podem ser introduzidas, tais como analogia, a mera semelhança, a semelhança literal, a metáfora, e assim por diante (CHA e GERO, 2006).

2.3.3.9 Categoriais de Similaridade

As semelhanças nas formas são identificados pelos seus atributos, a estrutura física (Gero e Jun , 1995), a transformação contínua (March e Steadman, 1971; Steadman, 1983; Mitchell, 1990), ou a estrutura de organização (Falkenhainer et al,1990) . **As formas são reconhecidos e classificados em termos de seus atributos, tais como a cor, tipo de linha, espessura, e assim por diante.** Formas que têm a mesma estrutura física em

termos de topologia e geometria são considerados como formas semelhantes: formas congruentes. Elas podem ser transformados através de distorções que mantenham métricas conectoras. Os arranjos formais que são compostos de diferentes sub-formas, mas têm as mesmas relações de composição, são chamados de formatos análogos (CHA e GERO, 2006). As categorias de similaridade são descritas como:

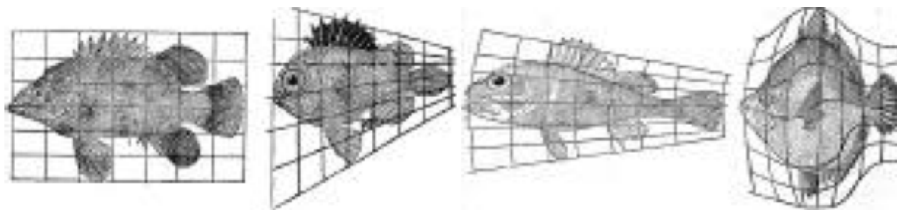
(a) **Mera Semelhança:** Objetos que compartilham os mesmos atributos. Um atributo refere-se a um único componente ou a propriedade de um objeto, tais como a cor, o material, estilo de linha, etc. Por exemplo, se as mesmas formas de cor são agrupados percentualmente, a semelhança é identificada pela mesma cor e a cor a caracteriza em forma de grupo. formas de aparência simples podem ser identificados a partir de representação da forma que descreve as propriedades de formas usando cálculo de predicados (Coyne et al, 1990). A cor amarela de uma janela pode ser descrito como de cor (uma janela, amarela) e a cor amarela de uma porta pode ser descrito como de cor (uma porta, amarela). A partir destas duas descrições atributo de cor, sua similaridade de mera semelhança pode ser identificada pois compartilham o mesmo atributo : a cor amarela.

(b) **Formas congruentes:** têm a mesma estrutura de elementos em termos de topologia e geometria. Se duas formas têm o mesmo número de linhas máximas infinitas, número de cruzamentos, propriedades geométricas de linhas máximas infinitas e restrições dimensionais em segmentos em cada linha maximal infinito, então essas duas formas são congruentes (Gero e Jun, 1995).

(c) **Formas transformação contínua:** têm a mesma estrutura, mas são diferentes em tamanho ou possuem limitações dimensionais. As formas de transformação contínua são distorcidas, mas sempre preservam as propriedades métricas de conectividade. No sentido dimensional, eles não são perfeitamente satisfatórias ou deformações perfeitamente regulares, mas, no entanto, são simétricas em relação ao olhar (Fig. 42). O biólogo D' Arcy Thompson (1952) mostrou que as distorções da propriedade dimensional com

propriedades estruturais constantes produzem cognitivamente o efeito de forma semelhante.

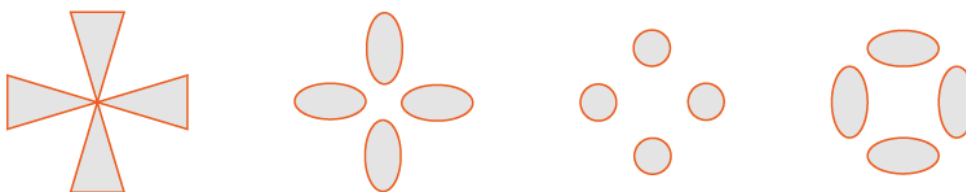
Figura 42: Ilustração Usando Transformação Contínua



Fonte: Adaptado de CHA e Gero (2006)

(d) **Formas análogas:** têm a mesma estrutura organizadora, mas que podem ter diferentes sub-formas. Na Figura 43 , todas as formas têm diferentes estruturas físicas, tamanhos, localizações, etc. , mas eles têm a mesma relação espacial, que é uma rotação de 90° de quatro formas. Todas as formas compartilham a mesma estrutura de organização, assim, elas são formas análogas.

Figura 43: Ilustração Usando Diferentes Arranjos Análogos



Fonte: Adaptado de CHA e Gero (2006)

Tais categorias de similaridade favorecem a compreensão dos requisitos necessários para a formalização de um conjunto de regras que possam avaliar a similaridade morfológica entre membros de uma família de produtos, através de um método generativo.

2.4 Métodos Generativos de Projeto

Para o desenvolvimento de uma família de produtos, cuja unidade formal é procurada apesar das distintas formas que atendem a cada um de seus

elementos (uma xícara, um bule e um açucareiro possuem formas distintas, porém há a necessidade de manter a coerência estilística para ser compreendido como conjunto), é importante a definição de parâmetros (ou condicionantes) de desempenho para atendimento de critérios projetuais que atentam os demais condicionantes do elemento. São exemplos, a altura, largura, peso, volume do artefato, volume de conteúdo, etc. Estes critérios devem ser utilizados, não apenas na definição das soluções, mas como parâmetro de avaliação e análise (RODRIGUES et al, 2013). Os métodos generativos de projeto e o projeto paramétrico podem atender estas demandas, pois um sistema generativo corresponde a configuração baseada em definições de possíveis variações de projeto capazes de produzir soluções de projeto de objetos. (CELANI, 2012).

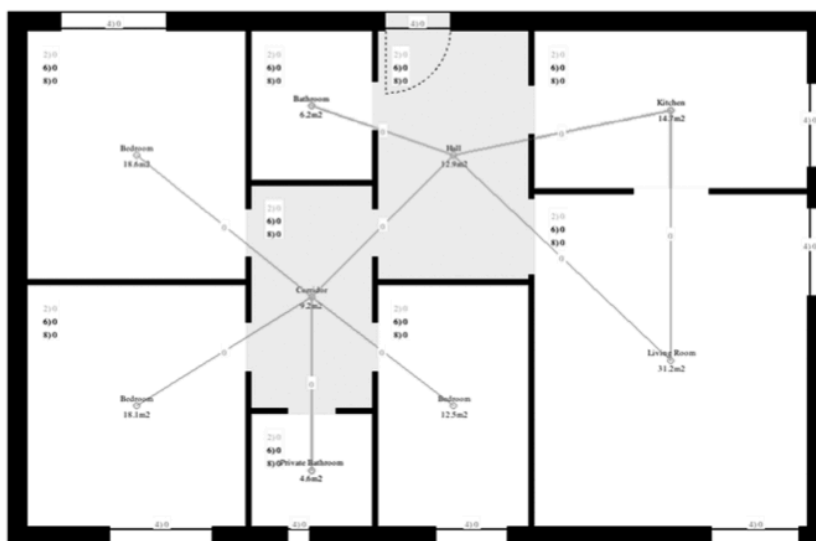
Em um processo generativo o objeto é definido e produzido a partir de princípios geradores. Estes princípios geradores podem ser implementados em um software através de uma linguagem de programação (AISH, 2014). Normalmente, **uma estrutura computacional é desenvolvida com uma abordagem de integração baseada em duas técnicas computacionais fundamentais, formas de gramática e computação evolutiva** (RODRIGUES et al, 2013). A primeira se refere ao gerenciamento e manutenção da consistência estilística; e a segunda ao controle do processo de design sob uma grande diversidade de requisitos. As soluções de implementação de processo de projeto usando métodos generativos, possui exemplos na arquitetura e no design, usando diferentes estratégias de implementação.

2.4.1 Métodos Generativos de Projeto na Arquitetura

Rodrigues et al (2013), no trabalho *“Evolutionary strategy enhanced with a local search technique for the space allocation problem in architecture”* apresenta a implementação de uma ferramenta que elabora planos de piso, cuja solução projetual provê resposta ao problema de alocação espacial na arquitetura a partir do processo de determinar a posição e a dimensão de

várias salas e aberturas de acordo com os requisitos do programa de design especificado pelo usuário e suas respectivas restrições topológicas e geométricas em um espaço bidimensional. Os elementos de composição consistem em módulos correspondentes aos ambientes e as regras procuram formatá-los baseados em relações de hierarquia topológica. Os resultados se apresentam conforme a Figura 44, abaixo:

Figura 44: Exemplo de um projeto de plano de piso único com a informação de penalidades e o gráfico topológico de espaços.



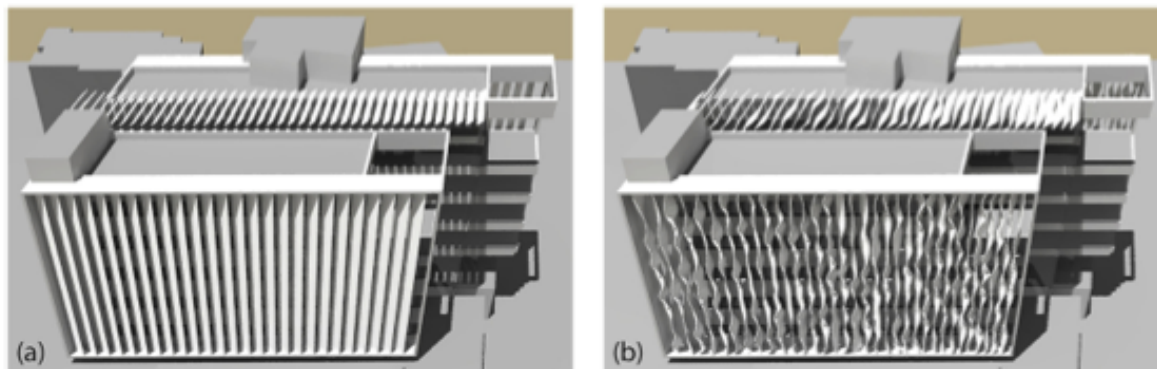
Fonte: E. Rodrigues et al. (2013)

A implementação utilizou um esquema de computação evolutiva híbrida aprimorada que acopla uma Estratégia Evolutiva (ES) com uma técnica de escala *Stochastic Hill Climbing* – SHC (algoritmo de otimização) para gerar o conjunto de planos de piso a serem usados nos estágios iniciais de projeto de arquitetura (RODRIGUES et al, 2013).

Ercan e Elias-Ozkan (2015) apresentam uma solução que consiste no uso de um conjunto de procedimentos de modelagem paramétrica e algoritmos genéticos para exploração de alternativas de desenho para dispositivos de sombreamento solar em prédio comercial no trabalho *“Performance-based parametric design explorations: A method for generating appropriate building components”*. O estudo de caso corresponde a dispositivos que foram projetados para uma construção de escritórios em um clima quente e úmido,

com a necessidade de bloquear ganhos solares excessivos, ao mesmo tempo em que proporcionava níveis satisfatórios de luz do dia, foi considerada importante para proporcionar conforto térmico em seu interior, bem como para reduzir o consumo de energia do prédio. A Figura 45.a apresenta a imagem do projeto original e a Figura 45.b o resultado da otimização.

Figura 45: Modelos de Simulação de Dispositivos de Sombreamento; (a) Desenho Inicial e (b) Desenho Otimizado



Fonte: Ercan e Elias-Ozkan (2015)

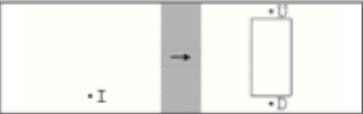



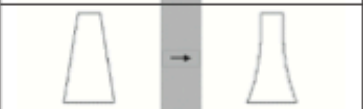
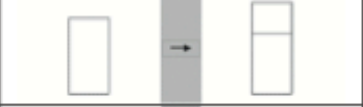


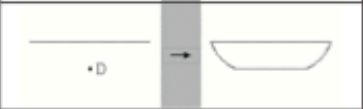

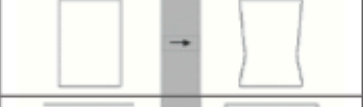





A solução otimizada originou-se através do equilíbrio dos fatores condicionantes ambientais, que permitam a passagem de luz bloqueando a incidência direta do sol, usando-se a temperatura como referência principal.

2.4.2 Métodos Generativos de Projeto no Design

Em métodos generativos de projeto de Design, a gramática da forma foi usada para gerar novas formas de design de produtos da marca Coca-Cola® de acordo com as preferências do designer em várias dimensões do produto (CHAU et al, 2004). O método é descrito no artigo *“Package shape design principles to support brand identity”*. Os algoritmos evolutivos foram estabelecidos como técnica de pesquisa aleatória para evoluir e otimizar o projeto para atender à requisitos específicos. A pesquisa relatada neste artigo investigou o uso de uma abordagem combinada, reunindo a capacidade de síntese da gramática da forma e a capacidade de evolução e otimização dos

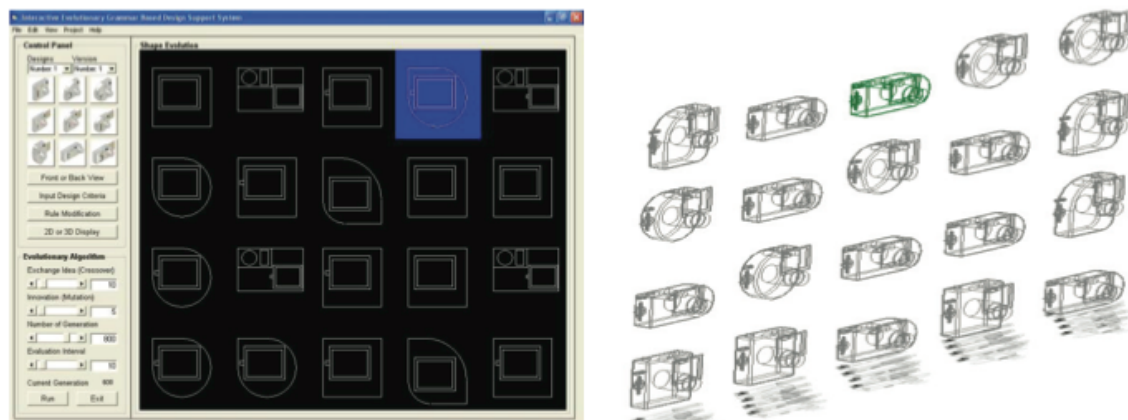
algoritmos evolutivos, para apoiar a geração e avaliação de novas formas de produtos. É também apresentada uma arquitetura de sistema para a integração de gramáticas de formas com os algoritmos evolutivos. Foi desenvolvido um software denominado *Prototype* baseado nesta arquitetura, e o mesmo é descrito e demonstrado usando a garrafa de Coca-Cola® como um estudo de caso (Fig. 46).

Figura 46: Conjunto de regras de composição baseada em construção topológica e variação formal de partes.

Modelagem do Corpo		
Modelagem da Parte Superior		
		
		
Alteração do Corpo		
Modelagem da Base		
		
Modelagem da Parte Inferior		
		
Modelagem da Região do Rótulo		
Modelagem do Vertedor		
		

Já o trabalho de Lee et al (2011), “*Evolutionary shape grammars for product design*”, descreve o desenvolvimento de uma estrutura generativa baseada em gramáticas evolutivas para a inovação de produtos. Foi utilizado algoritmo genético associada à gramática da forma e desenvolvido em um ambiente computacional evolutivo. Os resultados gerados pelo algoritmo genético definem uma nova combinação de recursos (partes) da forma para projetos alternativos. Desta maneira, a gramática da forma tradicional é estendida a um contexto interativo em que os métodos de computação generativa e evolutiva são combinados. Tanto o desenho do componente do produto quanto a configuração topológica do produto são configuráveis nesta estrutura. Ou seja, são combinados diferentes formas iniciais para cada componente geométrico do produto de maneira a compor novas configurações formais para as máquinas fotográficas, considerando a tipologia funcional. A Figura 47.a apresenta a interface do modelo generativo e a Figura 47.b a população de resultados gerados.

Figura 47: (a) Interface do Modelo Generativa; (b) População de Resultados



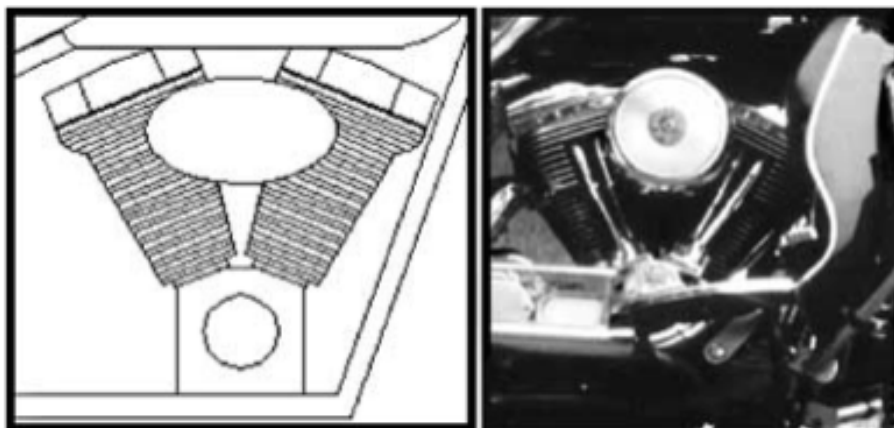
Fonte: Lee et al. (2011)

O estudo de Pugliese e Cagan (2001), "*Capturing a Rebel: Modeling the Harley-Davidson Brand through a Motorcycle Shape Grammar Research*". apresenta a investigação do uso e aplicação da gramática da forma produzindo desenhos que poderiam ser associados a uma determinada marca, de maneira que fosse possível fazê-lo com produtos que tivessem as identidades formais de marca bastante estabelecidas. Para tanto foi feito um estudo de caso com a marca de motocicletas Harley-Davidson®, pois mercadologicamente possui uma imagem mítica da forma em um estilo clássico estável, reconhecido em diferentes mercados a nível global.

As motocicletas produzidas pela Harley-Davidson® costumam usar componentes mais tradicionais, como correias e carburadores com refrigeração por ar e sem encapuzamento. A marca optou por manter muitos elementos de design característicos ao longo do tempo em um esforço para manter a estabilidade da marca. Esses elementos de design, a semelhança (similaridade) entre os seus modelos, e sua distinção formal em relação aos de outros fabricantes, além da imagem lendária que a Harley-Davidson® possui, foram consideradas ideais para o estudo e candidato para modelagem dentro de uma gramática de forma.

O centro de cada motocicleta Harley-Davidson® é composto por um motor de quatro tempos V-twin de 45 graus - nunca coberto por carenagem, o tanque de combustível e a ornamentação adicional. Há um filtro de ar elíptico que ocupa o espaço vazio entre cilindros, mas nunca obstrui sua visão (Fig. 48a). A linha central entre cilindros é vertical, com cada cilindro inclinado a 22,5 graus de distância - um encaminhado para a frente, o outro para trás. Os motores usam uma única cambota, que geralmente pode ser reconhecida por uma tampa circular visível na base do quadro e em linha com a linha central do V (Fig. 48b).

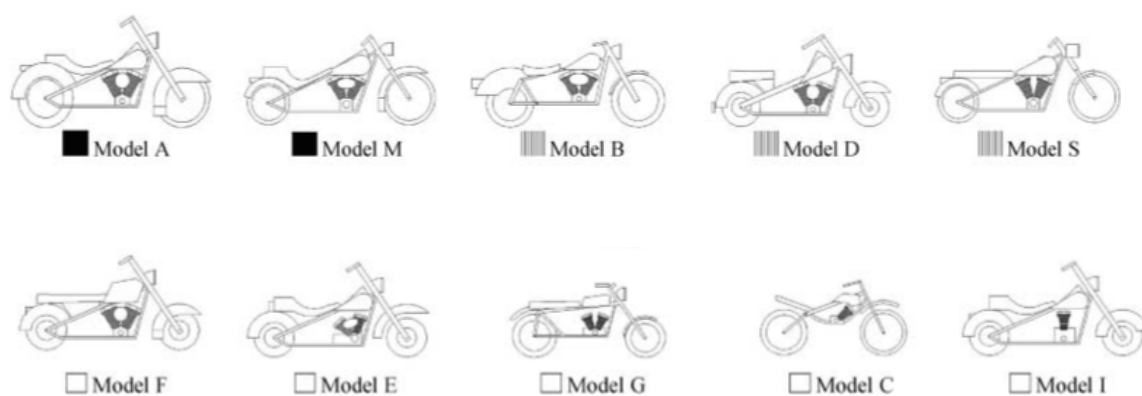
Figura 48: (a) Esquema ilustrado do Motor; (b) Imagem fotográfica do Motor



Fonte: Pugliese e Cagan (2001)

Essa configuração forneceu subsídio para o experimento utilizando a gramática da forma que foi desenvolvida a partir da decomposição e recomposição dos elementos compositivos da motocicleta, variando-se a geometria dos demais componentes, porém preservando o motor na mesma localização. A Figura 49 apresenta a população de soluções geradas.

Figura 49: Variações da Motocicleta Harley-Davidson®



Fonte: Pugliese e Cagan (2001)

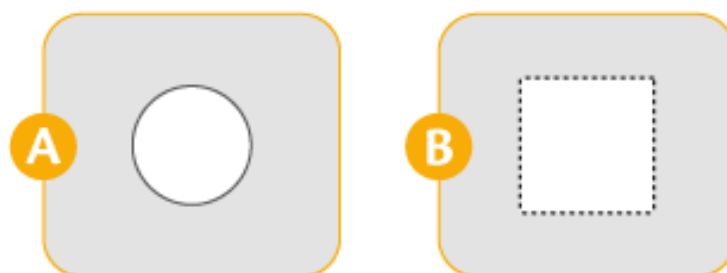
2.5 Projeto Generativo utilizando Gramática da Forma

Conforme visto nos exemplos anteriores, o projeto generativo é resultado de um algoritmo composto por regras semânticas, referentes ao significado e à interpretação dos elementos projetuais; e sintáticas, que se referem às relações formais de estruturação tais como: ordem, arranjo e subordinação (MITCHELL, 1992). A partir deste raciocínio George Stiny e James Gips desenvolveram a Gramática da Forma na década de 1970, que consiste em um sistema de geração de formas baseado em regras e tem sua origem na gramática generativa do linguista Noam Chomsky (CELANI, 2006). A gramática é definida como a teoria de estruturação de uma linguagem que determina um conjunto de regras que irão ordenar a combinação de palavras de modo a produzir sentenças gramaticais válidas (GONCALVES, 2007). Neste sentido, a gramática das formas é aplicada com o objetivo de estruturar a maneira de combinar as formas manipuladas de acordo com as regras, podendo produzir uma classe de modelos em um estilo particular para gerar diversas formas emergentes seguindo uma mesma linguagem de design (CHA e GERO, 2006).

Stiny (1980) divide a estruturação da gramática da forma em cinco etapas, definidas como:

Vocabulário: Corresponde à identificação das formas primitivas e de suas potenciais possibilidades de composição (Fig. 50) através dos operadores de transformação previstos na etapa de definição das relações espaciais (STINY,1980).

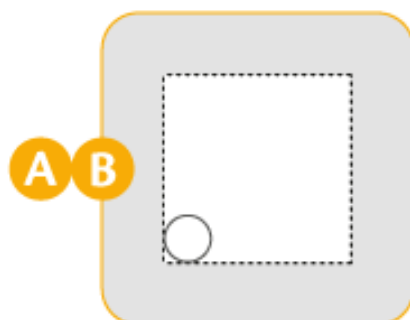
Figura 50: Elementos de Vocabulário



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Relações Espaciais: Consiste na combinação dos elementos de vocabulário organizados e orientados a partir de operações booleanas (Fig. 51); e transformações isométricas e paramétricas.

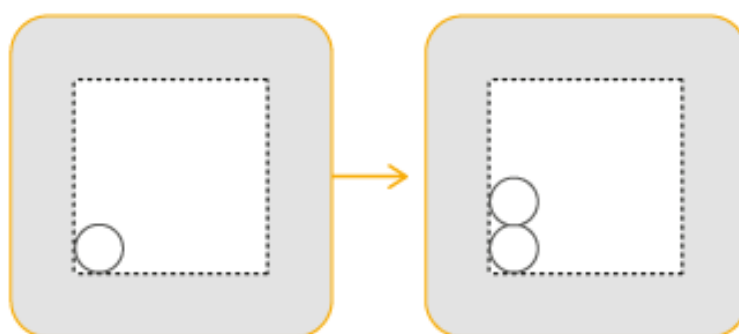
Figura 51: Relações Espaciais



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Regras Formais: A partir das definições estabelecidas nas relações espaciais (Fig. 52), são definidas regras de transformação do tipo $A \rightarrow B$ (ao encontrar A, substitua por B) (CELANI, 2006).

Figura 52: Regras Formais



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Formas Iniciais:

Para dar início à aplicação das regras, é necessário selecionar uma forma inicial, pertencente ao vocabulário de formas.

As formas geradas a partir da sequência de regras são denominadas formas emergentes. E a mesma sequência de regras de geração pode ser aplicada como uma espécie de engenharia reversa.

2.5.1.1 Geração Reversa de Gramática da Forma

Chau (2002), em sua tese intitulada “*Preserving Brand Identity in Engineering Design Using a Grammatical Approach*” estabelece uma abordagem de engenharia reversa no que tange a formulação das regras de geração de formas. Seu trabalho consiste na verificação da possibilidade de identificar a gramática de uma forma seminal para utilizá-los na concepção de um novo produto que mantenha algumas das características estético-formais do objeto de origem, alterando-se algumas dimensões, porém mantendo-se a regra. O objeto analisado foi um produto de higiene pessoal (Fig. 53): um sabonete da marca Dove®.

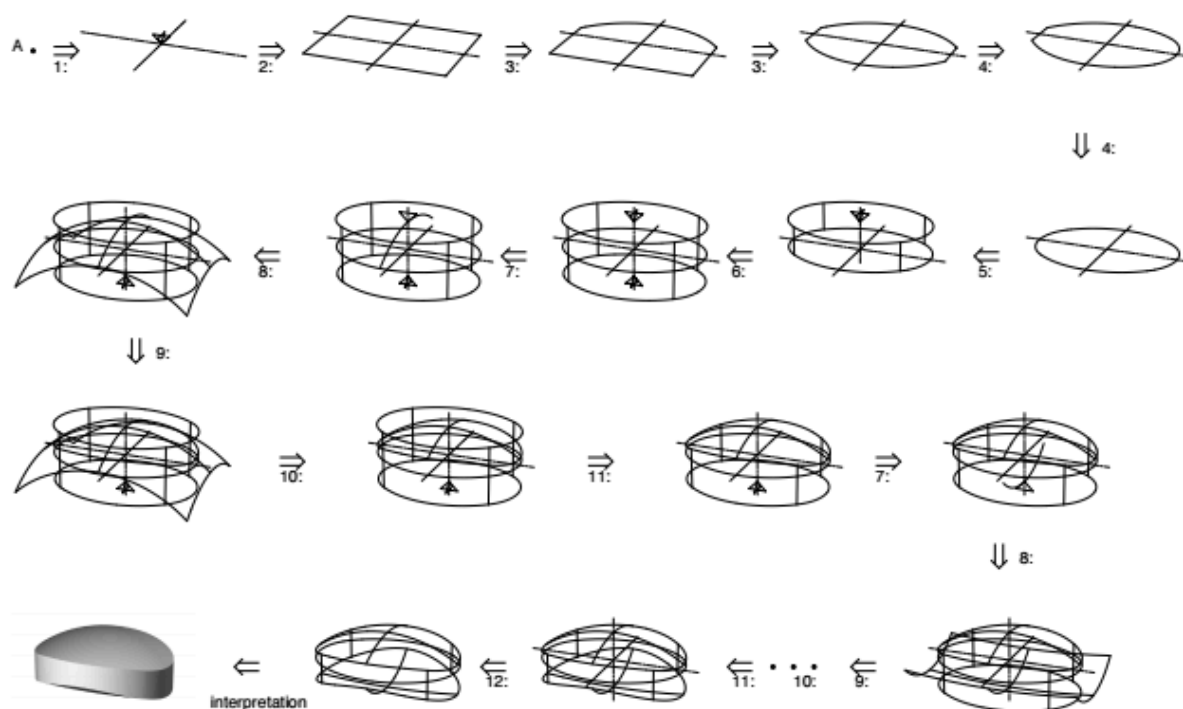
Figura 53: Produto (sabonete) da Marca Dove®



Fonte: <http://www.walmart.com.br>

Na Figura 54 é possível verificar a sequência da extração/geração dos elementos de vocabulário, das relações espaciais e das regras formais que compõe a morfologia do produto avaliado.

Figura 54: Diagrama de Regras Formais



Fonte: Chau (2002)

A partir da Figura 54 observa-se a demarcação dos limites dimensionais, o uso das relações de transformação isométricas, o uso das relações paramétricas e o uso das relações topológicas, formalizando assim um conjunto de regras que poderão ser aplicadas em sequência, alterando-se por exemplo, apenas os limites dimensionais. Assim, as regras podem ser repetidas para a criação de embalagens dos demais membros da família de produtos de higiene pessoal como: sabonete líquido, desodorante, shampoo, etc.

2.5.1.2 Geração Parametrizada de Formatos/Formas

O design baseado em desempenho ou desenho performativo é definido como a síntese de dois processos de concepção digitais, são elas: a geração de geometrias e a simulação de desempenho (OXMAN, 2006). Modelos baseados em desempenho são gerados para cumprir parâmetros previamente determinados, tornando-se assim, o fator determinante para a geração geométrica de uma determinada forma. As possibilidades de personalização e parametrização oferecida por interfaces amigáveis; o avanço dos softwares de simulação de desempenho e ferramentas de design digital, **criam condições de autonomia aos projetistas para que estes realizem explorações de projeto baseado em desempenho**, sem a ajuda de especialistas de simulação (ERCAN e ELIAS-OKAN, 2015).

2.5.1.3 Geração de Geometrias usando Algoritmos Genéticos

Renner e Ekárt (2003) afirmam que os algoritmos genéticos fornecem uma alternativa para técnicas de exploração de design tradicionais, simulando os mecanismos encontrados na genética; eles transpõe o mecanismo da evolução natural para os meios digitais e a simulam criando uma primeira geração de uma população de membros individuais e, em seguida, encontrando os mais aptos através de uma pesquisa cruzada. Nesta técnica, cada membro da população recebe a atribuição de um valor de *fitness* (resultado esperado para um determinado parâmetro), incorporando uma função de aptidão para o algoritmo genético, que por sua vez indica o quão bem a solução está adequada em relação ao problema projetual/requisito. Indivíduos mais perto do valor de *fitness* são mantidos e os novos são gerados tanto por mutação, cruzamento, ou a reprodução a partir dos ajustes e em seguida são testados novamente (RENNER e EKÁRT, 2003).

Para Turrin, von Buelow, & Stouffs (2011), o uso dos algoritmos genéticos associadas às técnicas de modelagem paramétrica potencializam a produção de soluções, pois **representam mais um aspecto de incremento de performance ao processo.**

2.6 A Computação Bio-Inspirada

A bioinformática é uma ciência multidisciplinar que surgiu da necessidade de se compreender as funções biológicas, mais especificamente os genes. A engenharia de softwares, a matemática, a física, a química, a estatística, a ciência da computação e a biologia molecular são algumas áreas do conhecimento relacionadas a ela. Essa ciência é responsável por armazenar e relacionar dados biológicos, com o auxílio de métodos computacionais e algoritmos matemáticos. Assim, reconhece padrões que provavelmente seriam impossíveis de serem analisados sem tal ajuda (LESK, 2008).

Um profissional que atua na área de tecnologia da informação e se habilita em bioinformática, além de dominar conhecimentos específicos de sua área, deve conhecer a Biologia Molecular, pois a bioinformática apoia principalmente a interpretação de dados relacionados aos componentes da vida como por exemplo o genoma humano, quais os padrões de interação entre seus componentes, suas estruturas e dinâmicas (LESK, 2008).

2.6.1 Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos (GAs: *Genetic Algorithms*) são algoritmos matemáticos inspirados nos mecanismos de evolução natural e recombinação genética, que juntamente com as técnicas de Redes Neurais, Lógica *Fuzzy* e Sistemas Especialistas, compõem a área da Inteligência Computacional que é uma ciência que busca, através de técnicas inspiradas na Natureza, o desenvolvimento de sistemas inteligentes que imitam aspectos do comportamento humano, tais como: aprendizado, percepção, raciocínio,

evolução e adaptação (DAVIS,1990); e tem sido aplicados em sistemas inteligentes de previsão, suporte à decisão, controle, otimização, modelagem, classificação e reconhecimento de padrões em geral, nos setores de Energia, Economia, Marketing, Meio Ambiente, entre outros (MICHALEWICZ, 1994).

2.6.2 Princípios da Seleção Natural

A técnica de algoritmos genéticos aprovisiona um mecanismo de investigação adaptativa que se baseia no princípio Darwiniano de reprodução e sobrevivência dos mais aptos pois, de acordo com a teoria de Darwin, o princípio de seleção natural privilegia os indivíduos com maior longevidade e probabilidade de reprodução porque indivíduos com mais descendentes tem mais chance de perpetuarem seus códigos genéticos nas próximas gerações (DAVIS, 1990).

A teoria de Darwin sobre o mecanismo da evolução começou com a variação que existe entre os organismos dentro de uma espécie. Os indivíduos de uma geração são qualitativamente diferentes uns dos outros. A evolução da espécie como um todo resulta das taxas diferenciais de sobrevivência e reprodução de vários tipos, logo as frequências relativas dos tipos mudam com o tempo. A evolução, sob este ponto de vista, é um processo distributivo.

Para Darwin, a evolução do grupo resultava da sobrevivência diferencial e da reprodução de variantes individuais já existentes no grupo, variantes que surgem de um modo não relacionado com o ambiente, mas cuja sobrevivência e reprodução dependem do ambiente (GRIFITHS et al, 2001).

A teoria de Darwin da evolução por meio da seleção natural é apoiada sobre três princípios:

1. Princípio da Variação: entre indivíduos dentro de uma população, há uma variação em morfologia, fisiologia e comportamento.
2. Princípio da hereditariedade: a prole se assemelha a seus genitores mais que se assemelha a indivíduos não aparentados.
3. Algumas formas são melhor sucedidas em sobrevivência e reprodução que outras formas em um determinado ambiente.

2.6.3 Estruturas de Dados

Os códigos genéticos constituem a identidade de cada indivíduo e estão representados nos seus cromossomos. Estes princípios são imitados na construção de algoritmos computacionais que buscam uma melhor solução para um determinado problema, através da evolução de populações de soluções codificadas através dos cromossomos artificiais. A analogia entre os algoritmos genéticos e o sistema natural é representado a seguir (Quadro 1), e relaciona o elemento natural aos componentes estruturais dos algoritmos genéticos.

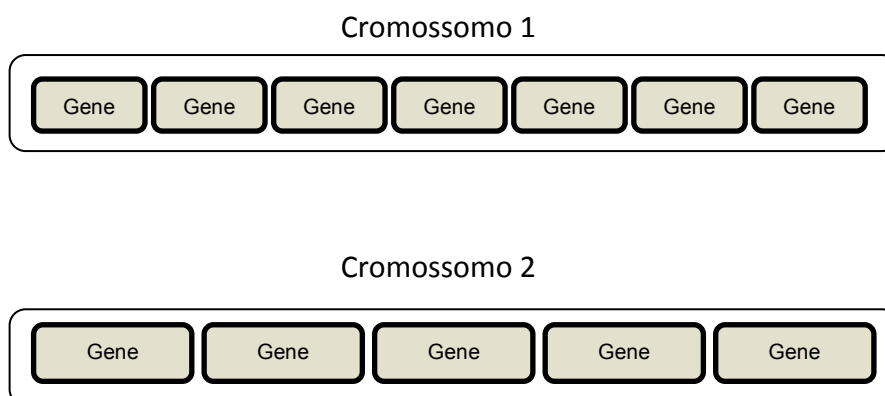
Quadro 1: Relação (Elemento x Componente)

Elemento Natural	Componente estrutural
Cromossomo	Palavra Binária, Vetor
Gene	Característica do Problema
Alelo	Valor da característica
Loco	Posição na palavra, vetor
Genótipo	Estrutura
Fenótipo	Estrutura submetida ao problema
Indivíduo	Solução
Geração	Ciclo

Fonte: Gabriel e Delben (2012)

Para Gabriel e Delbem (2012), **os cromossomos associam-se para formar um organismo e seu número varia de uma espécie para outra** (Fig. 55). Um conjunto completo de cromossomos é chamado de genótipo. A representação cromossominal é fundamental para o algoritmo genético, pois ela basicamente consiste na tradução dos termos de um problema para uma maneira viável de ser interpretada pelo computador, sendo cada segmento indivisível desta representação o denominado gene (LINDEN, 2006).

Figura 55: Representação de Sequências Cromossômicas



Fonte: Desenvolvido pela Autora

A estrutura de um algoritmo genético é composto pelos seguintes elementos: a geração inicial, as operações de cruzamento genético, a geração de pais/filhos (população gerada a partir da população inicial utilizando as operações de cruzamento genético) e a função de avaliação (*fitness*) que é responsável pela verificação do grau de aptidão do indivíduo de acordo com as parametrizações solicitadas para elaborar o ranqueamento. O ciclo do algoritmo pode ser observado a seguir (Fig. 56), onde os elementos do diagrama mostram a sequência da estrutura de manipulação dos dados.

Figura 56: Ciclo do Algoritmo Genético



Fonte: Desenvolvido pela Autora

2.6.4 Geração (População) Inicial

A geração inicial pode ser composta por um conjunto de indivíduos selecionados a partir de um critério de avaliação. A partir da geração inicial serão obtidos as gerações seguintes após serem submetidas ao cruzamento genético. Podem participar da população inicial indivíduos com características desejáveis nas gerações seguintes (MICHALEWICZ, 1999).

2.6.5 Cruzamento Genético (Mutação/Combinação)

A combinação e a mutação s  o operações que se iniciam com uma seleção rand  mica de dois indiv  duos pais escolhidos para fazer a reprodução, neste caso trocando material gen  tico. A localização do material gen  tico que ser   trocado    definido atrav  s de m  todo algoritmo. Na Figura 57, se pode observar a seleção do segundo gene de cada cromossomo para efetuar a troca do material gen  tico, que corresponde internamente por uma operação l  gico-matem  tica (MICHALEWICZ, 1999).

Figura 57: Representação de Cruzamento Gen  tico



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Todas as operações que ocorrem para o êxito do cruzamento genético, desde a programação do tipo de seleção (randômica ou ordenada), até a direção do cruzamento, que pode ser horizontal ou vertical, alterando a sequência de um indivíduo da próxima geração, ou alterando a sequência cromossômica de um indivíduo da mesma geração respectivamente, são determinadas pela programação do mecanismo do algoritmo genético (MICHALEWICZ, 1999).

2.6.6 Geração Filhos

A geração denominada Filhos ocorre a partir do cruzamento genético provido pelas operações de combinação e/ou mutação da geração antecessora, seja a geração inicial ou a geração selecionada como apta (geração intermediária) pelos critérios da função de avaliação (*fitness*). Uma vez gerada a população Filhos passa novamente pela avaliação de aptidão seguindo para o descarte, convergência ou nova população intermediária, de acordo com seu ranqueamento (MICHALEWICZ, 1999).

2.6.7 Fitness / Função de Avaliação (Aptidão/Convergência)

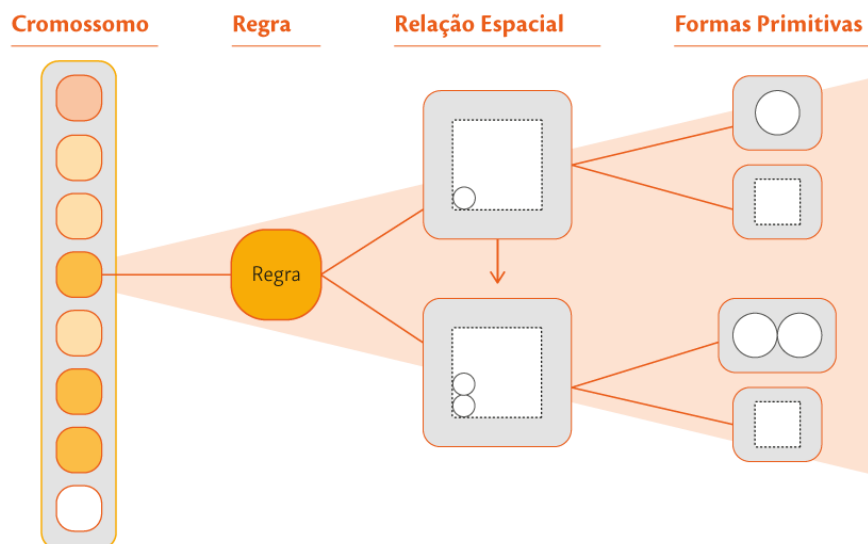
A Função de Avaliação, mais conhecida bibliograficamente como "*fitness*" pode ser definida como o agente de seleção responsável por classificar o grau de aptidão de cada indivíduo gerado de acordo com a performance prevista para cada critério, pois contém todas as restrições necessárias do problema a ser resolvido. Os critérios são determinados a partir dos requisitos obrigatórios e/ou desejáveis para cada atributo previamente definido. Para um vasto conjunto de atributos que por vezes corresponde a um problema projetual, podem ser atribuídos alvos absolutos ou um determinado intervalo. Lembrando que o Algoritmo Genético é um método estocástico (não determinístico) e trabalha com otimização combinatória, trabalha com uma população de indivíduos (soluções) e busca pela solução "ótima".

2.7 Considerações sobre a Fundamentação Teórica

O levantamento produzido através da base teórica e revisão de literatura apoia esta pesquisa nos seguintes termos: i) a compreensão dos princípios de projeto para o desenvolvimento de família de produtos elucidam a estratégia mercadológica desde a concepção até a manutenção de ciclo de vida, os fatores internos e externos às indústrias que alteram a quantidade de elementos de uma família, a terminologia empregada de acordo com as características dos conjuntos e o gerenciamento da percepção parte-todo que é imprescindível seja na familiaridade com a geração anterior, ou na inserção de um novo elemento ao conjunto; ii) o estudo da forma e seus princípios compositivos são fundamentais para a elaboração do vocabulário e das regras gramaticais formais usadas na proposta do projeto generativo, bem como na programação da função avaliação que compõe o algoritmo genético; iii) o estudo e compreensão da estrutura do algoritmo genético fornece subsídios para a construção do modelo computacional de simulação que usará operadores lógico-matemáticos, trigonometria e desenho geométrico para manipular as formas (morfologia dos objetos) usando os princípios da evolução natural.

Além disso, o estudo e compreensão nos mecanismos e operadores da genética natural, permitiu a analogia biológica proposta nesse trabalho como resposta ao problema de pesquisa, pois cria uma estrutura de relações baseada nos fundamentos que correspondem a formalização de similaridades entre diferentes elementos. A Figura 58 ilustra as correspondências entre o princípio da hereditariedade e a aplicação da gramática da forma como maneira de tratamento de conteúdo geométrico.

Figura 58: Relação Gramática da Forma x Hereditariedade



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Na imagem anterior (Fig. 58) é possível compreender as equivalências possíveis que aproximam e viabilizam a implementação da manutenção das similares estético-formais entre distintos elementos de um conjunto, uma vez que as formas primitivas poderão assumir as suas geometrias, as relações espaciais a sua tipologia e que juntos irão compor uma parte da superfície de um objeto. Um conjunto de regras por sua vez, corresponde ao conjunto completo de movimentos da superfície. Assim, obtêm-se o gene e o cromossomo que são passíveis de manipulação pelo raciocínio dos operadores da genética.

Portanto, se conclui que a implementação de um modelo generativo deverá atender distintamente cada um dos princípios da teoria da evolução de Darwin (1858) atendendo suas equivalências de acordo com a teoria da simetria de Bonsiepe (1975), e assim vincular ferramentas e técnicas que viabilizam a sua construção (Quadro 2) .

Quadro 2: Relação de Equivalências

<p>Teoria da Evolução (DARWIN, 1858) - Seleção Natural -</p>	<p>Teoria da Simetria (BONSIEPE, 1975) - Fenômenos Morfológicos -</p>	<p>Modelo Generativo</p>
<p>Princípio da Variação: entre indivíduos dentro de uma população, há uma variação em morfologia, fisiologia e comportamento.</p>	<p>Deve existir a repetição de elementos capazes de constituir uma configuração;</p>	<p>Permitir a geração de variações formais entre indivíduos distintos (categorias conceituais) que atendem diferentes funções práticas.</p>
<p>Princípio da hereditariedade: a prole se assemelha a seus genitores mais que se assemelha a indivíduos não aparentados.</p>	<p>Deve existir entre os elementos uma relação de igualdade e semelhança;</p>	<p>Permitir a transferência de movimentos geométricos que configuram a identidade da família para as variantes geradas.</p>
<p>Algumas formas são melhor sucedidas em sobrevivência e reprodução que outras formas em um determinado ambiente.</p>	<p>Deve elencar-se um princípio generativo que determina a posição preferencial dos elementos que constituem um todo.</p>	<p>Permitir a gestão da coerência estilística na geração e na seleção de alternativas, preservando os movimentos geométricos que configuram a identidade da família.</p>

Fonte: Desenvolvido pela autora

O Quadro 2 evidencia as relações de equivalência que orientam a metodologia desenvolvida neste trabalho e que permitem a análise e verificação dos dados.

3 METODOLOGIA

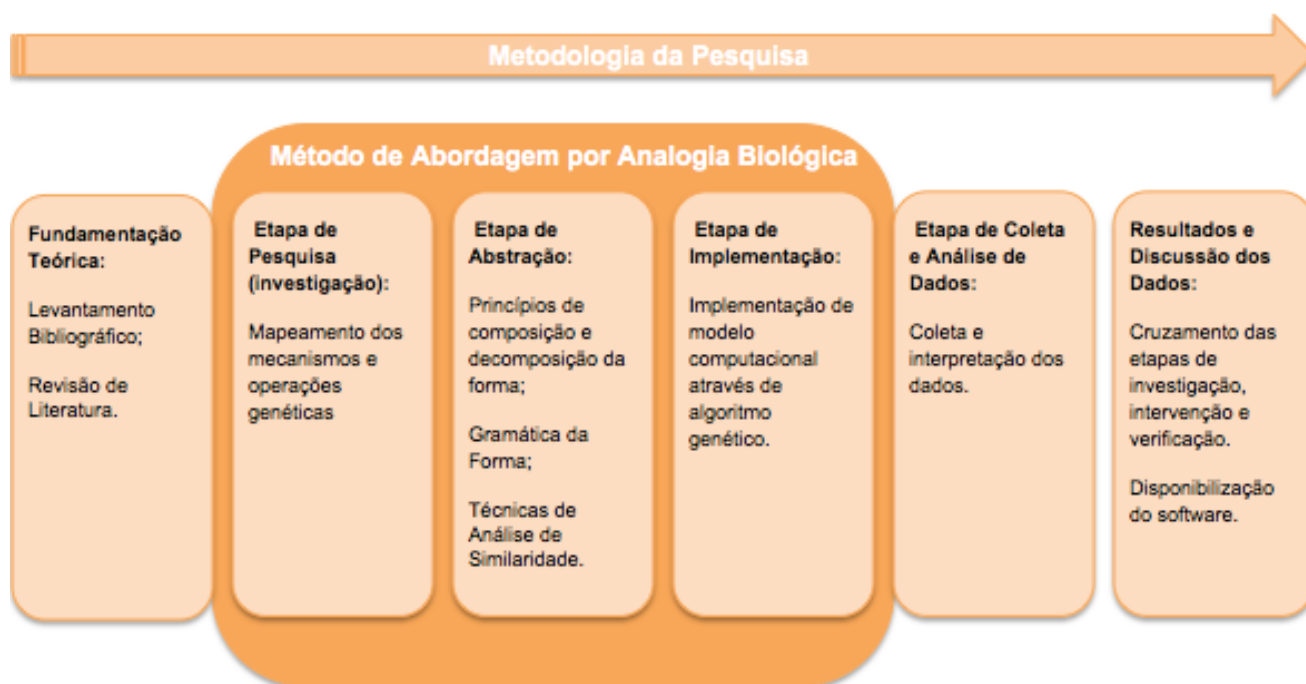
Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho para cumprimento dos objetivos estabelecidos. **No princípio esta pesquisa é definida como exploratória** ao permitir ao pesquisador construir uma resposta ao problema inicial se valendo de múltiplas fontes de informação. Assim é possível considerar informações provenientes de levantamentos bibliográficos, estudos de caso e conversas com especialistas que oferecem uma maior compreensão do problema de pesquisa (SAMPIERI, 2013). **Em seguida, o trabalho foi estruturado através dos conceitos do Design Science Research** (LACERDA et al, 2015) com o objetivo de desenvolver um mecanismo de projeto para estruturação de composição estético-formal aplicada a uma família de produtos , através da identificação das operações genéticas naturais que possam oferecer subsídio como modelo de estruturação sistemática e automatizada aplicável no contexto de processo de projeto nas etapas de geração e seleção de alternativas de solução.

Ao utilizar modelos naturais assumindo os conceitos da biomimética obtêm-se um aprendizado da natureza para a melhoria da tecnologia. Porém, a transposição das operações e dos fenômenos naturais para as áreas de Engenharia, Arquitetura e Design através da analogia biológica, necessitam de uma abordagem cujos macro processos são classificados em três passos: **Pesquisa (Investigação) → Abstração → Implementação** (NACHTIGALL, 2010). Assim, o desenvolvimento desta pesquisa se orienta pela revisão e estudo dos conceitos da genética natural, sua estrutura, mecanismos e operações correspondendo à **etapa de Pesquisa (Investigação)**; pela revisão e estudo relativos à princípios de composição e decomposição de formas tridimensionais, estratégias de geração formal mediante uso de gramática de formas e mecanismos de identificação de similaridades implementados na área de bioinformática que concerne à **etapa de Abstração**; e pela descrição detalhada do experimento implementado em ambiente computacional utilizando algoritmos genéticos justificado por sua pertinência ao tema desenvolvido, além de apresentar a transposição das operações naturais para as operações

geométricas, oferecendo ampla gama de possibilidades de composição formal que corresponde à **etapa de Implementação**.

A partir dos resultados fornecidos pelas etapas anteriores, é apresentada a **etapa de análise e interpretação dos dados coletados**, através da descrição das técnicas selecionadas. Por fim, na **etapa de resultados e discussão dos dados**, se realiza o cruzamento dos resultados obtidos nas etapas de investigação, abstração e verificação da pesquisa. É evidenciado o processo sistemático de construção de similaridade formal entre membros de uma família de produtos. São ainda descritas as diretrizes de uso do modelo generativo implementado através de software (plug-in) e denominado de Gaia, e considerações finais da pesquisa. A Figura 59, traz o desenho geral das etapas metodológicas descritas acima:

Figura 59: Estrutura do Algoritmo Genético



Fonte: Desenvolvido pela autora

A partir do objetivo geral desta pesquisa que diz: "Propor uma ferramenta computacional para a geração e seleção de alternativas de solução para o projeto de família de produtos, a partir de requisitos estético-formais, utilizando modelagem paramétrica e algoritmos genéticos", se fez necessário a composição dos objetivos específicos para atingi-lo. O Quadro 3 organiza os objetivos específicos de acordo com o seu propósito e as técnicas utilizadas para alcançá-lo.

No item 3.1 da presente pesquisa, etapa de investigação, são descritos detalhadamente os procedimentos para a coleta e análise dos dados, assim como no item 3.2, são descritas as etapas do processo de abstração que corresponde à modelagem de dados, à geração e armazenamento de dados e validação de dados. No item 3.3, é descrito o processo de implementação do modelo computacional de simulação.

Quadro 3: Atendimentos de Objetivos

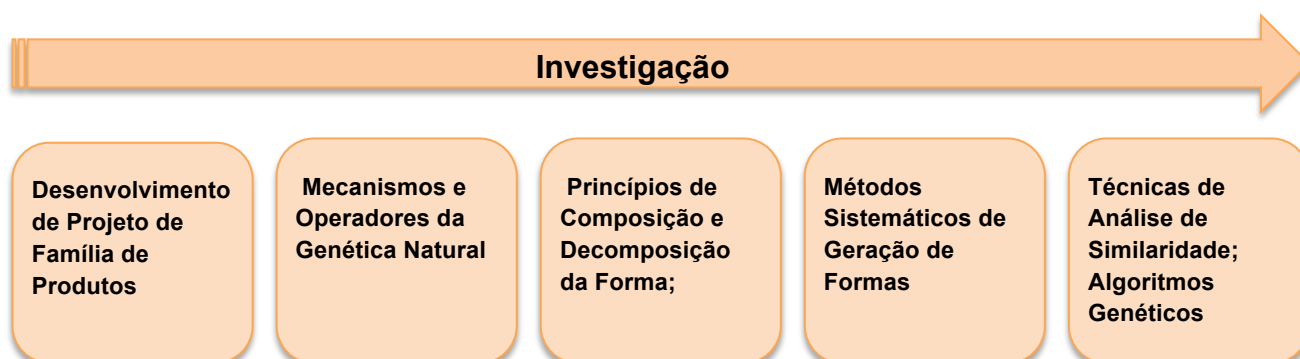
Objetivo	Como será alcançado?	Qual é a sua finalidade?
Identificar o estado da arte das técnicas e ferramentas utilizadas para estabelecer uma relação estético-formal em projeto de família de produtos;	Etapa de Fundamentação Teórica: Levantamento Bibliográfico; Revisão de Literatura.	Obter informações para auxiliar no desenvolvimento da ferramenta automatizada (<i>plug-in</i>) de composição de membros de uma família de produtos com unidade estético-formal.
Estabelecer uma estratégia geométrica para composição de formas tridimensionais, seus elementos e operadores, técnicas e mecanismos de geração.	Etapa de Fundamentação Teórica: Levantamento Bibliográfico; Revisão de Literatura.	Determinar os elementos e operadores para o que a ferramenta (<i>plug-in</i>) desenvolvida gere formas com características estético-formais similares.
Elaborar um mecanismo baseado em um princípio natural (hereditariedade), que permita a derivação de uma forma seminal para os demais membros de uma família de produtos	Etapa de Fundamentação Teórica: Levantamento Bibliográfico; Revisão de Literatura.	Relacionar as regras de composição de formas com características estético-formais similares através dos princípios naturais de

		hereditariedade e evolução.
- Identificar as técnicas e ferramentas de análise de similaridade;	Etapa de Fundamentação Teórica: Levantamento Bibliográfico; Revisão de Literatura.	Estabelecer os critérios de similaridade das características estético-formais das formas geradas em relação à forma seminal proposta.
- Desenvolver a tradução da linguagem genética em geométrica e em seguida computacional;	Etapa de Fundamentação Teórica: Levantamento Bibliográfico; Revisão de Literatura. Etapa de Abstração: Desenvolvimento de equivalências de operadores e elementos entre a linguagem genética, geométrica e computacional.	Possibilitar a implementação das regras de geração e seleção de formas com características estético-formais similares, através de linguagens e estruturas de programação.
- Estruturar um modelo computacional para ambientar a funcionalidade (plug-in) responsável pela geração sistemática e automatizada de soluções estético-formais similares para desenvolvimento de família de produtos;	Etapa de Implementação: Implementação de modelo computacional usando equivalências de operadores e elementos entre a linguagem genética, geométrica e computacional.	Implementar o plug-in proposto nesta pesquisa.
- Verificar o modelo computacional (plug-in) implementado; Disponibilizá-lo para uso em desenvolvimento automatizado de família de produtos.	Etapa de Coleta e Análise de Dados: Analisar a composição estético-formal dos elementos gerados com de acordo os princípios elencados na fundamentação teórica; Produzir o manual de técnico para utilização do Plug-In	Evidenciar que o uso da ferramenta desenvolvida na presente pesquisa é adequada à composição de conjunto de formas geradas a partir de superfícies de revolução com características estético-formais similares, para o desenvolvimento de família de produtos.

3.1 Etapa de Investigação

A etapa de investigação corresponde à pesquisa bibliográfica e revisão de literatura, consolidando-se assim a fundamentação teórica pertinente ao foco da pesquisa (FLICK, 2009). O escopo da presente proposta consiste nos seguintes assuntos: princípios para o desenvolvimento de família de produtos e gerenciamento da coerência estilística em famílias de produtos. Para o desenvolvimento da ferramenta computacional bio-inspirada, foram estudados os mecanismos e operadores da genética natural, os princípios de composição e decomposição da forma, os métodos sistemáticos de geração de formas; técnicas de análise de similaridade, e algoritmos genéticos. O desenho do esquema da etapa de investigação é apresentado na Figura 60.

Figura 60: Esquema Ilustrado da Etapa de Investigação



Fonte: Desenvolvido pela autora

O objetivo principal da etapa de investigação é formar um arcabouço teórico que possa ser utilizado para construir um algoritmo que opere a geração e seleção automatizadas de membros de uma família de produtos baseado em um mecanismo bio-inspirado, através de recursos e ferramentas tecnológicas, a partir uma forma seminal pré-existente e mantendo suas característica estético-formais ao longo dos ciclos evolutivos. Para tanto, foi utilizado o método de levantamento bibliográfico e revisão de literatura, em

livros, artigos científicos e periódicos sobre os assuntos relacionados. O primeiro capítulo, intitulado “O Projeto de Família de Produtos” traz **o estudo nas principais fontes de metodologia de projeto de produto orientada à composição de famílias e gerenciamento da coerência estilística entre os membros de um conjunto**, como: Bart e Boynton (2009), Sanderson e Uzumeri (1997), Jespersen e Miller (1995), Simpson et al. (2006), Elgard e Miller (1998), Baxter (1994), Lobach (2001), Gomes Filho (2003), Kotler (2008); a identificação de como se configuram as relações de familiaridade através dos conceitos de plataforma e modularidade pelos autores: Pine (1993), Echeveste e Fettermann (2011), Ulrich e Eppinger (1995), Pahl e Beitz (1996), Ulrich e Tung (1991) Back et al. (2008) e Rozenfeld et. al (2009). O segundo capítulo intitulado “Mecanismos e Operadores da Genética Natural” traz o estudo da compreensão das relações que estabelecem unidade entre membros de um conjunto através de conceitos da Mereologia (estudo das relações parte-todo), através dos autores Varzi (1996) e Fiorini (2014) e da Genética Natural através dos conceitos de hereditariedade e evolução, genotipia e fenotipia, pelos autores Lesk (2008), Burns (1986) e Griffiths et al. (2001).

Estas informações atendem ao primeiro objetivo específico do trabalho que corresponde à “Identificar o estado da arte das técnicas e ferramentas utilizadas para estabelecer uma relação estético-formal em projeto de família de produtos”. Conforme o problema de pesquisa aborda: “Como automatizar a geração de soluções no processo de projeto a partir dos **requisitos estético-formais para composição de similaridades** em famílias de produtos”, o terceiro capítulo da fundamentação teórica intitulada “Princípios de Composição e Decomposição da Forma: provê subsídios para **atender os princípios de composição e decomposição da forma, as categorias de similaridade formais e os projetos generativos** utilizando gramática da forma. Os autores estudados foram: Gomes Filho (2008), Arnheim (1995), Wong (2010), Cha e Gero (2006), Ricca (2011), Muniz e Manzoli (2015), Gruber (2011), Ribeiro (2003), Bonsiepe (1975).

Para atendimento do segundo objetivo específico: “Eleger uma estratégia geométrica para composição de formas tridimensionais, seus elementos e operadores, técnicas e mecanismos de geração, com a finalidade

de determinar os elementos e operadores para o que a ferramenta (plug-in) desenvolvida gere formas com características estético-formais similares, forneceram subsídios teóricos os autores: Rodrigues et al (2013), Ercan et al (2015), Chau et al (2004), Lee et al (2011), Mitchell (1992), Celani (2006), Cha e Gero (2006), Stiny (1980) e Chau (2002).

Como o objetivo geral propõe o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a geração e seleção de alternativas de solução para o projeto de família de produtos a partir de requisitos estético-formais, utilizando modelagem paramétrica e algoritmos genéticos, foi necessário estabelecer uma estratégia geométrica para o experimento de maneira que permitisse ter suas partes compostas e decompostas para que pudessem ser manipuladas. Adotou-se a composição de forma tridimensional gerada por **superfícies de revolução**, definida como uma superfície obtida pela rotação de uma linha plana em torno de um eixo que pertence ao mesmo plano da curva, e que compõe grande número de embalagens, contenedores e produtos em geral. Para tal, foi isolada a geratriz do objeto seminal, transformando-a, **nas etapas de Abstração e Implementação**, em vocabulário genético e computacional. A Figura 61 apresenta o esquema de geração de forma através de superfícies de revolução.

Figura 61: Esquema Ilustrado da Composição da Forma usando Superfícies de Revolução

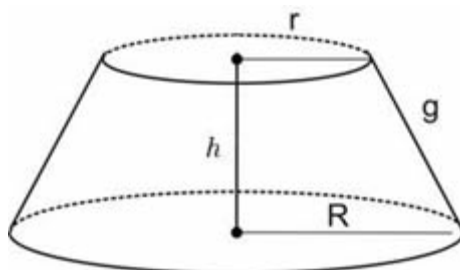


Fonte: Desenvolvido pela autora

Para obter as superfícies curvas geradas pelo movimento de uma linha que gira em torno de um eixo fixo, são necessários alguns parâmetros como: o raio (r), a altura do eixo (h). A Figura 62 mostra o exemplo de uma forma – tronco de cone – sendo, que neste exemplo, o raio da base (R) é diferente do

raio do topo (r). A reta gerada entre as distâncias dos raios é denominada **geratriz** que por sua vez ao se movimentar em rotação ao redor do eixo, gera a superfície do objeto.

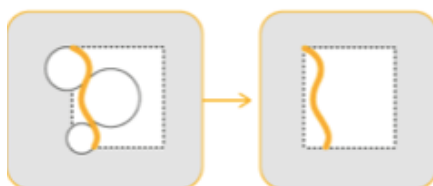
Figura 62: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz



Fonte: Desenvolvido pela autora

Ao se estabelecer uma categoria conceitual como objeto de investigação formal, se percebem as variações formais do desenho da superfície (permitidas pela manipulação da geratriz, ou seja, variações de raio em relação ao eixo ao longo da altura do artefato) como agente unificador do conjunto (família). Lembrando que um produto pode ser identificado pelas suas proporções, linhas orgânicas ou linhas inclinadas características, se adotou a construção da geratriz por meio de arcos euclidianos para determinar e controlar a sua composição e decomposição formal. A Figura 63 expõe o raciocínio de construção de uma geratriz através de arcos de circunferência dispondo 3 (três) circunferências (elementos) em concordância, cujos arcos adjacentes intercalados evidenciam uma geratriz. As circunferências que originaram os arcos, possuem **relação topológica e de transformação, e dimensionamentos**.

Figura 63: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz



Fonte: Desenvolvido pela autora

Em seguida, se pode promover o movimento de revolução e assim obter a forma composta do objeto que está sendo desenvolvido. As demais operações são adequar os componentes acessórios (que podem se vincular com o raciocínio de modularidade) à forma, de acordo com sua atribuição e requisitos funcionais. A Figura 64 apresenta a sequência de identificação da geratriz, seu movimento de revolução e acoplamento de acessório.

Figura 64: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz

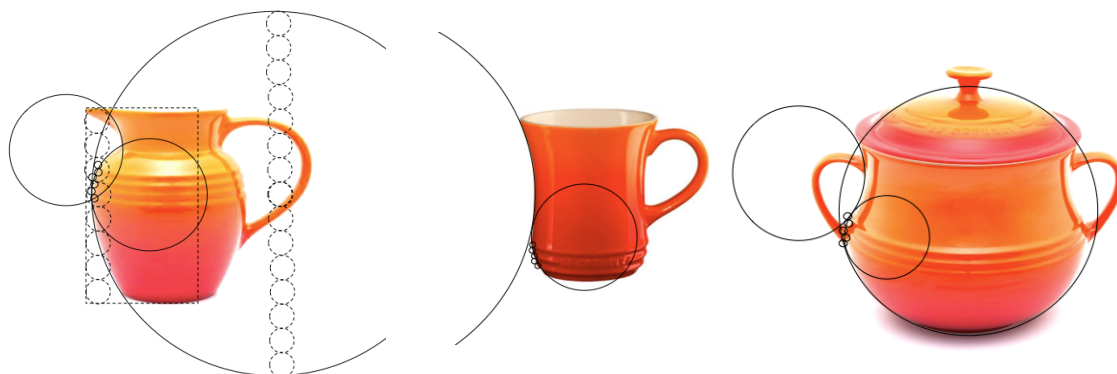


Fonte: Desenvolvido pela autora

Uma vez isolada a geratriz geradora de uma superfície e compreendida seus elementos, operadores e relações topológicas e de transformação se torna viável a obtenção da **fórmula geométrica** para construção de uma nova forma a partir desta mesma sequência de geração, apenas alterando o conteúdo de suas variáveis. A Figura 65, mostra uma família de produtos de louças, da marca Le Creuset®, cuja unidade formal é evidenciado pela repetição de uma fórmula geométrica. Porém nota-se que a aplicação da fórmula não é absoluta, pois há intervenções de acordo com os **requisitos funcionais** do produto, mas a utiliza como uma referência. Isto cria uma similaridade formal entre os elementos que colabora na identificação da linha de produtos da empresa, baseado na técnica visual, denominada, sutileza que é utilizada, para conferir uma distinção tênue, afinada, delicada, e de grande refinamento visual em relação ao todo ou às partes de uma composição (GOMES FILHO, 2009). No caso específico da marca Le Creuset®, é possível verificar ainda, que há uma sequência de operações geométricas (que cria a concordância de curvas interpretada como três linhas subsequentes) que é mantida em todos os produtos independente da sua morfologia. Isto assume

uma evidência de semelhança direta entre os elementos e tem sua incidência arbitrada pelo projetista.

Figura 65: Construção de Similaridade dos produtos LeCreuset®



Fonte: Desenvolvido pela autora

A analogia biológica proposta por este trabalho, relaciona o conceito da hereditariedade da genética natural à manutenção da coerência formal em família de produtos, permitindo que a geração automatizada de formas herde características formais de um objeto seminal. A hereditariedade consiste em ser um fenômeno que **representa a condição de semelhança existente entre ascendentes e descendentes**, através de uma contínua transferência de instruções em forma de código (genótipo), inscritas no material genético, orientando a formação e o desenvolvimento dos seres vivos, se manifestando através de suas características (fenótipo).

Para tal, a partir da investigação realizada através da fundamentação teórica, foi possível evidenciar as variáveis de dimensão, as relações topológicas, as relações de inter-relações, as relações de transformação isométricas e as operações lógico-matemáticas necessárias para gerir a manutenção de similaridade formal e que precisam estar vinculadas aos mecanismos e operadores dos conceitos da genética natural. O Quadro 3 apresenta as variáveis e tipos de relação adotadas neste trabalho para a manipulação formas dos arcos tangentes responsáveis pela composição das geratrizes.

Quadro 4: Relação (Elemento x Operação)

Ente geométrico	Circunferência (Arcos Tangentes)
Variáveis de Dimensão	h (altura) r (raio)
Relações Topológicas	Acima Abaixo Esquerda Direita
Relações de Inter-Relações	Contato Superposição Subtração União
Relações De Transformação Isométricas	Translação Escala
Operação Lógico-Matemáticas	Adição Subtração Repetição

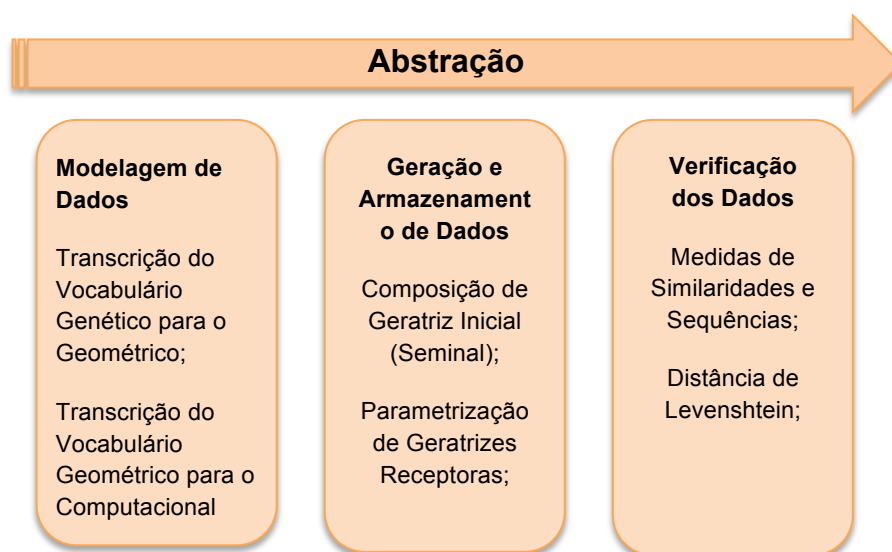
Fonte: Desenvolvido pela autora

O mapeamento destas relações e operações permitiu a organização da modelagem de dados criando elementos estruturadores de vínculo entre as operações geométricas e genéticas descritas da etapa de Abstração.

3.2 Etapa de Abstração

A etapa de abstração consiste em quatro fases principais (Fig. 66), sendo eles: o processo de modelagem dos dados; a geração e o armazenamento dos dados e a verificação dos dados.

Figura 66: Esquema Ilustrado da Etapa de Abstração



Fonte: Desenvolvido pela autora

No item 3.2.1 é descrito o mecanismo baseado no princípio natural (hereditariedade), que permite a derivação de uma forma seminal para os demais membros de uma família de produtos criando as equivalências e transcrições do vocabulário genético para o geométrico e em seguida para o vocabulário computacional. No item 3.2.2 são descritos os meios computacionais de desenvolvimento do plug-in GAIA e a organização dos dados para geração e armazenamento das informações. O item 3.2.3 apresenta as técnicas e ferramentas para uso em medidas de similaridades e descreve a técnica selecionada: distância de Levenshtein.

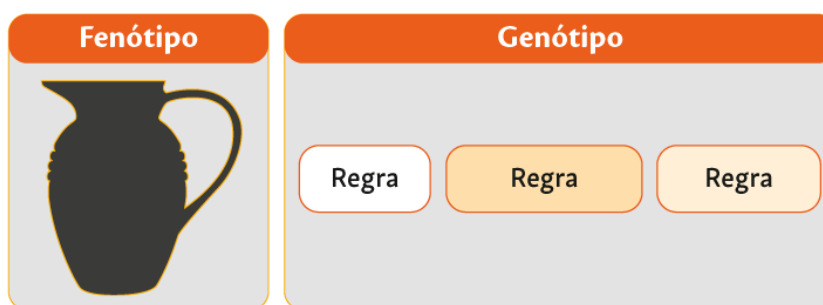
3.2.1 Modelagem de Dados

O terceiro objetivo específico deste trabalho versa sobre a elaboração de um mecanismo baseado em um princípio natural que permita a derivação de uma forma seminal para os demais membros de uma família de produtos, com a finalidade de relacionar as regras de composição de formas com características estético-formais similares através dos princípios naturais de hereditariedade e evolução.

Para tanto, a analogia biológica proposta por este trabalho, relaciona o conceito de hereditariedade da genética natural à manutenção da coerência estético-formal em família de produtos, permitindo que um conjunto de soluções obtidas através de um método generativo, herde características estético-formais de um objeto seminal. Na natureza, este fenômeno se denomina hereditariedade e **representa a condição de semelhança existente entre ascendentes e descendentes**, através de uma contínua transferência de instruções em forma de código (genótipo), inscritas no material genético, orientando a formação e o desenvolvimento dos seres vivos, se manifestando através de suas características externas, morfológicas e fisiológicas (fenótipo).

Conforme visto anteriormente, a composição de uma forma pode ser descrita através de seus elementos componentes e conjunto de operações se obtendo assim uma regra (ou um conjunto de regras, dependendo da complexidade) para criação desta forma. Se pode então corresponder (Fig. 67) este **conjunto de regras** ao conceito de **genótipo**, e a **forma composta** ao conceito de **fenótipo**.

Figura 67: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz



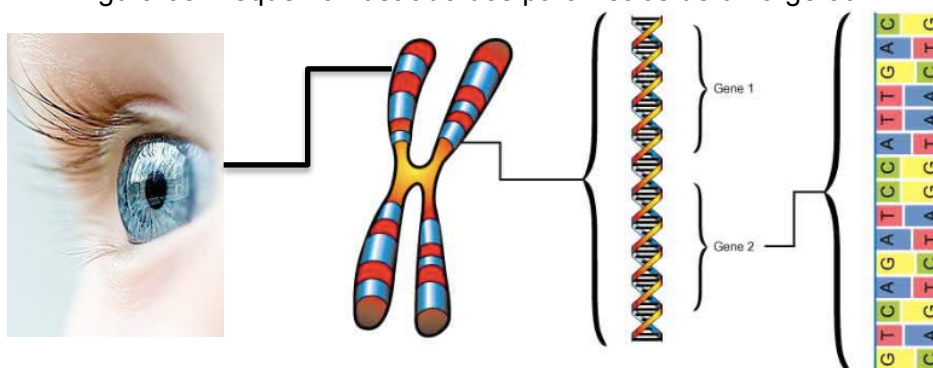
Fonte: Desenvolvido pela autora

Para tanto foi necessário conhecer compreender as estruturas que compõe o material genético e os mecanismos que permitem sua transmissão de uma geração para outra e adaptá-los para a linguagem geométrica, construindo suas correspondências.

3.2.1.1 Transcrição de Vocabulário Genético para o Geométrico

Na natureza a hereditariedade ocorre através dos genes que são responsáveis por codificar mensagens químicas para a construção de proteínas que basicamente possibilitam forma e função. Os **genes são uma macromolécula de dupla hélice**, semelhante a uma espiral, chamada ácido desoxirribonucleico, **abreviado para DNA**. O DNA, o material hereditário que passa de uma geração à seguinte, **dita as propriedades inerentes de uma espécie**. A informação codificada no DNA está sob a forma de uma sequência de subunidades químicas chamadas nucleotídeos. Cada célula em um organismo contém, tipicamente, um ou dois grupos do complemento básico do DNA, chamado de um genoma. O **genoma** é constituído de uma ou mais moléculas do DNA extremamente longas **agrupadas em estruturas denominadas cromossomos**. Os **genes são simplesmente as unidades funcionais do DNA cromossômico**. Cada gene não só **codifica a estrutura de algum produto celular, eventualmente manifestando-se por fenótipo (Fig. 68)**, como também **transporta consigo “os botões” de controle** que determinam quando, onde e quando de cada produto será sintetizado (GRIFFITHS et al, 2001).

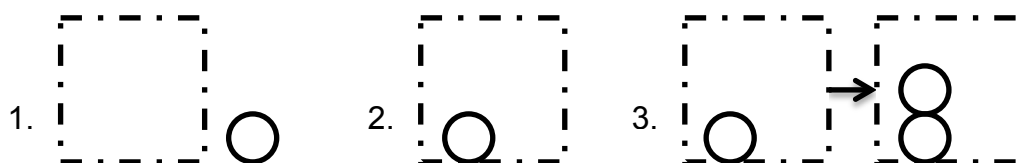
Figura 68: Esquema Ilustrado dos parâmetros de uma geratriz



Fonte: Desenvolvido pela autora

Para aproximar o mecanismo da hereditariedade natural ao método generativo proposto por este trabalho, houve a necessidade de simplificar e correlacionar os agentes de ambos os contextos para promover a sua viabilidade técnica. Enquanto no contexto natural a codificação está sob a forma de uma sequência de subunidades químicas, no contexto dos métodos generativos temos a gramática da forma como meio de composição de características estético-formais. Conforme visto no capítulo de fundamentação teórica, suas etapas correspondem a: **Vocabulário:** formas primitivas e de suas potenciais possibilidades de composição (Fig. 69.1); **Relações Espaciais:** combinação do vocabulário a partir de operações booleanas, categorias de inter-relação e transformações isométricas e paramétricas (Fig. 69.2); **Regras Formais:** A partir das relações espaciais, são definidas regras de transformação do tipo A \rightarrow B (ao encontrar A, substitua por B) (Fig. 63.3); se permitindo assim a composição de formas emergentes (STINY, 1980).

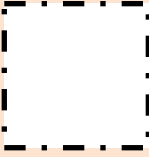
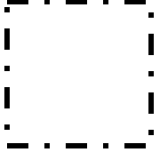
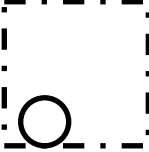
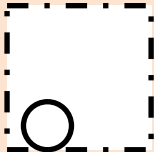
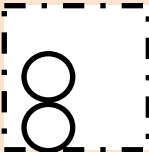
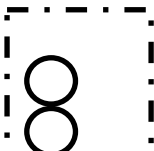
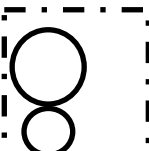
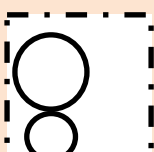
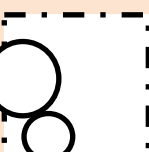
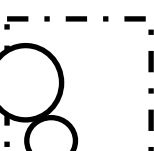
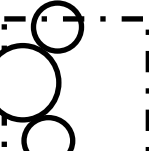
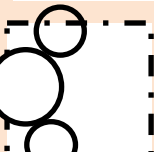
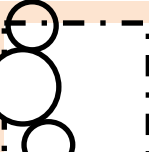
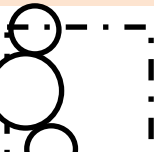

Figura 69: Elementos de Vocabulário



Fonte: Elaborado pela Autora

A partir disto foi construído um conjunto de regras generativas para compor um exemplo para análise, que no caso deste trabalho, são: a geratriz inicial (forma seminal de uma família de produtos) e as geratrizes emergentes (formas derivadas similares). O Quadro 4 demonstra o exemplo da composição de uma geratriz (GERATRIZ 1) utilizando a gramática da forma para identificação e compreensão da sua sequência generativa.

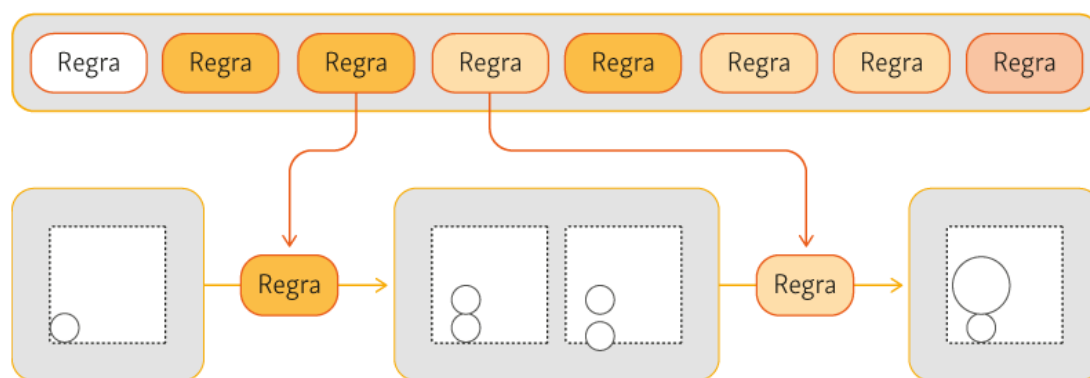
Quadro 5: Conjunto de Regras para composição da GERATRIZ 1

Regra	De	Para	Operação
Regra 1			Cria a área
Regra 2			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas;
Regra 3			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas;
Regra 4			Aplica escala em um dos elementos do vocabulário;
Regra 5			Desloca um dos elementos do vocabulário;
Regra 6			Adiciona um elemento de vocabulário com dimensão e posição determinadas;
Regra 7			Desloca um dos elementos do vocabulário;
Regra 8			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas;

Fonte: Elaborado pela Autora

Para a composição da GERATRIZ 1, foram necessárias o uso de dois distintos elementos de vocabulário, o primeiro que determina o espaço dimensional do objeto, definindo o raio (r) e altura (h) limites do objeto final; e uma circunferência para permitir a construção dos arcos. Foram também necessárias oito regras formais que realizaram Adição, Escala e Deslocamento, que correspondem à operações booleanas e à relações de topológicas e de transformação. Sendo assim, retomando a analogia com a genética, foi possível estabelecer que **uma regra formal corresponde ao conceito de gene**, e o **conjunto de regras formais** necessárias para a composição de uma geratriz, ou seja o conjunto de genes, **corresponde a um cromossomo** (Fig. 70).

Figura 70: Conjunto de Regras Formais - Cromossomo

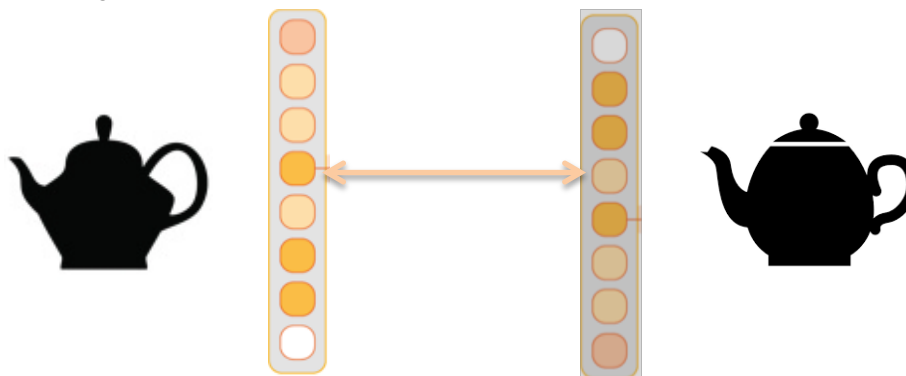


Fonte: Elaborado pela Autora

Portanto, cada geratriz manipulada pela ferramenta terá o seu **cromossomo** composto por uma sequência de **genes** que possuem material genético que coletivamente compõe o genótipo, onde as codificações manifestam no fenótipo. O número de regras formais pode variar de acordo com a complexidade geométrica do objeto, sendo que **o número de regras não se vincula a uma espécie**. Conforme visto anteriormente, uma categoria conceitual pode ser composta por membros de diferentes espécies, exemplificado, podemos considerar dois elementos da mesma espécie (duas xícaras) com um número diferente de regras. Assim como podemos ter dois elementos de espécies diferentes (xícara e bule) com o mesmo número de regras.

Uma vez determinado o cromossomo constituído pelos genes que contém a gramática da forma seminal (gramática da morfologia do formato), que determinará a unidade formal entre as espécies do conjunto, torna-se necessário definir os operadores que atuarão na troca de material genético. Na genética natural a transferência de material ocorre em duas dimensões: **transferência horizontal de genes**, que é o processo em que um organismo transfere material genético para outra célula que não é sua descendente; e **transferência vertical de genes** (Fig. 71), quando um organismo recebe material genético do seu antecessor, por exemplo dos pais ou de uma espécie a partir da qual evoluiu (MACEDO, 2005).

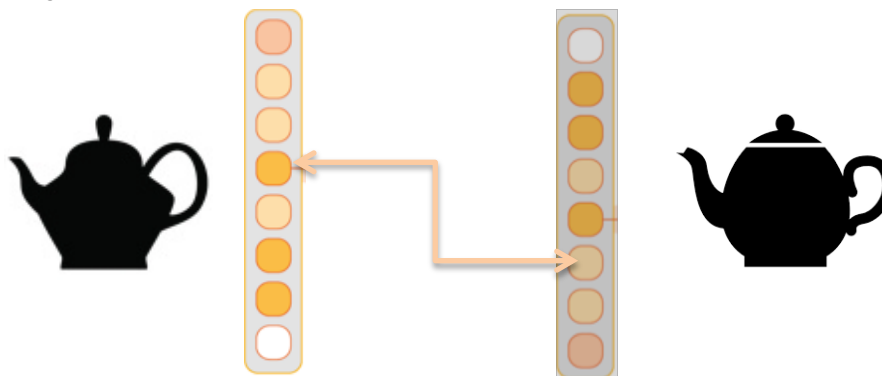
Figura 71: Transferência de Genes em Lócus Correspondente



Fonte: Elaborado pela Autora

O operador **COMBINAÇÃO** se constitui na transferência vertical de material genético se observando o mesmo lócus do gene. Ou seja, há troca da codificação da regra formal no mesmo trecho da geratriz para ambos os objetos. Já o operador **MUTAÇÃO** se constitui na transferência vertical de material genético se observando um endereço de lócus do gene diferente (Fig. 72). Ou seja, há troca da codificação da regra formal em um trecho diferente da geratriz para ambos os objetos.

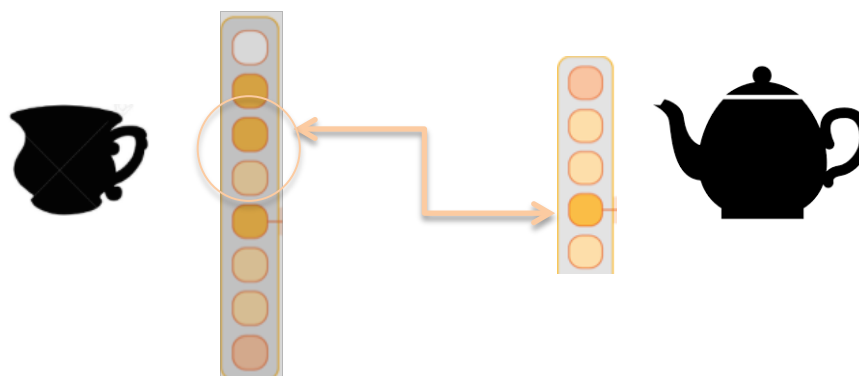
Figura 72: Transferência de Genes em Lócus não Correspondente



Fonte: Elaborado pela Autora

O operador **FLUXO GÊNICO** se constitui na transferência horizontal de material genético, quando envolve espécie diferentes ou número de genes diferentes (Fig. 73).

Figura 73: Transferência de Genes por Fluxo Gênico



Fonte: Elaborado pela Autora

Na engenharia genética, o mecanismo de transferência horizontal de genes é denominada transdução, que é o processo de transferência de um gene de uma bactéria para outra por meio de um vírus. A transdução consiste em encapsular uma sequência de genes de uma determinada espécie transferindo-a por substituição ou adição na sequência cromossômica de outra espécie. A escolha do conjunto de genes que é transposto considera o conceito de interação genética que significa a ação combinada de dois ou mais genes na produção de uma mesma característica.

3.2.1.2 Transcrição de Vocabulário Geométrico para o Computacional

Para a implementação do algoritmo genético o vocabulário geométrico foi adaptado para o vocabulário computacional. Um algoritmo é uma sequência finita e bem definida de passos que, quando executados, realizam uma tarefa específica ou resolvem um problema. Portanto são propriedades de um algoritmo ações simples e bem definidas (não pode haver ambiguidade, ou seja, cada instrução representa uma ação que deve ser entendida e realizada); há uma sequência ordenada de ações; e há um conjunto finito de passos. Sua estrutura é composta por declaração de constantes e variáveis; comandos de atribuição; estruturas de seleção e estruturas de repetição e chamada de funções ou procedimentos. (GRIFFITHS, et. all 2001).

O resultado obtido a partir da estruturação da gramática do formato seminal (GERATRIZ 1), permitiu a observação da existência de 3 arcos, concluindo-se que foi gerada a partir de 3 (três) circunferências, ou seja, 3 (três) elementos do vocabulário inicial. Portanto obteve-se o primeiro **identificador de variável denominado “nev” (nev = número de elementos de vocabulário)** (Quadro 6). Para fins de identificação da proporção entre os círculos adota-se que a medida do diâmetro “d” inicial das circunferências (elementos de vocabulário) será o mesmo para todos e ocupando a altura “h” do corpo do objeto, sendo assim:

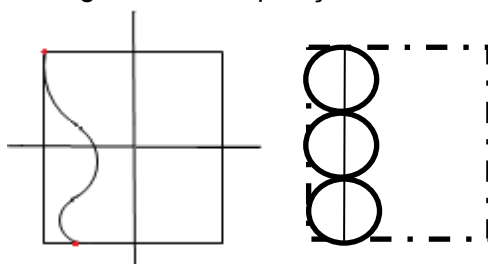
Quadro 6: Relação (Identificador x Significado)

Identificador	Conteúdo	Significado
h	altura	altura total da geratriz resultante
d	diâmetro	Diâmetro das circunferências que compõe os elementos de vocabulário
	numero elementos de vocabulário	quantidade de arcos da geratriz resultante

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Portanto, se considerarmos a altura (h) como 15 cm, o diâmetro inicial do elemento do vocabulário será de 5 cm, onde $d = 15 / 3$, logo, $d = 5$. A Figura 74 apresenta a geratriz resultante e a respectiva composição inicial do vocabulário.

Figura 74: Composição da Área



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Uma vez evidenciada a organização e a relação entre os elementos da gramática, foi também possível observar a repetição de algumas operações, permitindo-se assim isolar e estabelecer regras distintas que podem operar com diferentes variáveis.

Neste caso as etapas foram agrupadas em 5 (cinco) diferentes regras:

Regra 0: Nesta regra é estabelecido o “Nev” número inicial de elementos de vocabulário. A altura (h) corresponde à altura do objeto e define a altura da composição (empilhamento) de elementos do vocabulário inicial; e a largura (s) corresponde a largura do elemento (Quadro 7). A regra é compreendida pela seguinte função:

CriarArea (h,s,nev)

Quadro 7: Regra 0

Regra	De	Para	Operação
Regra 0			Cria a área

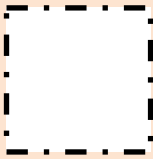
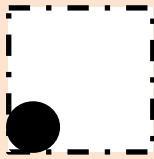
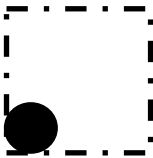
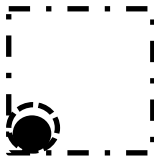
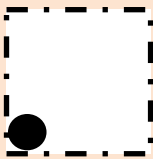
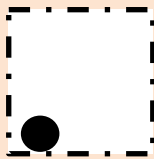
Fonte: Desenvolvido pela Autora

Regra 1: Pode-se observar uma sequencia de regras que se repetem (adiciona forma, aplica uma escala sobre forma e desloca a forma em relação a sua posição original), sendo assim possível criar uma única regra que recebe como dados de entrada os seguintes parâmetros: forma, escala e translação. Será representada pela seguinte notação:

Adicionar(forma; escala; translação; inter-relação; percprof)

O parâmetro “inter-relação” determinará o tipo de inter-relação (Superposição ou União) entre a forma anterior e a atual. Já o parâmetro “percprof” (percentual de profundidade) determinará o percentual de profundidade da Superposição ou União, sendo que o valor “0” (zero) indicará contato entre as duas formas e o valor “100”(cem) indicará sobreposição total (Quadro 8).

Quadro 8: Regra 1

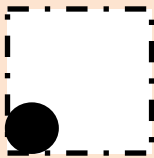
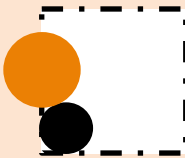
Regra	De	Para	Operação
Regra 1			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Adição Circulo
Regra 1			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Escala de -70% (0,7)
Regra 1			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Translação de 10° (0,1)

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Regra 2: Nesta regra é definido o segundo movimento da geratriz, em que a o segundo elemento do vocabulário cresce em escala definida e se desloca à esquerda em determinado número de graus. Os movimentos com esta característica serão representados pela seguinte notação:

Subtrair (forma; escala; translação; inter-relação; percprof)

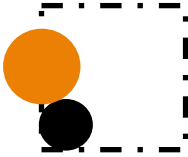
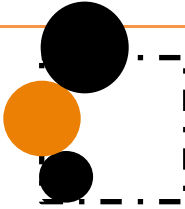
Quadro 9: Regra 2

Regra	De	Para	Operação
Regra 2			Subtrai um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Subtração Circulo, Translação -30°

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Regra 3: Repete-se a função *Adicionar*, com as variáveis pertinentes a esta etapa de transformações (Quadro 10).

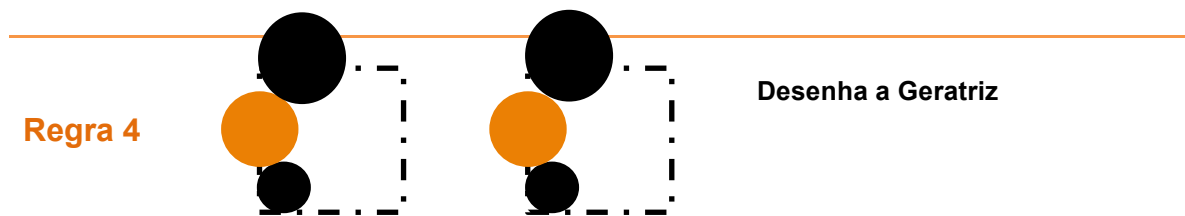
Quadro 10: Regra 3

Regra 3			Adiciona um elemento do vocabulário dimensão e posição determinadas; Adição Circulo, Escala de $+80\%$ (1,8), translação de 20°
---------	---	---	---

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Regra 4: Esta regra sinaliza a conclusão das transformações (Quadro 11).

Quadro 11: Regra 4



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Em seguida, está apresentado o quadro (Quadro 12) resumo das funções e respectivas variáveis observadas na extração da Geratriz Seminal.

Quadro 12: Regras e Funções

Regra 0	CriarArea(h,s,n)
Regra 1	Adicionar(circulo; $0,7 * d$; 10° ; “uniao”,0%)
Regra 2	Subtrair (circulo; $1,5 * d$; -30° ; “uniao”,0%)
Regra 3	Adicionar(circulo; $1,8 * d$; 20° ; “uniao”,0%)
Regra 4	Finalizar()

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Em caso de repetição de regras a função Repetir será usada associada às funções Adicionar e Subtrair com os seguintes parâmetros: Reg (regra que será repetida), n (número de repetições) e traj (trajetória a ser realizada). A operação será representada pela seguinte notação:

Repetir(Adicionar(forma;escala; translação; inter-relação; percprof),n,traj)

Repetir(Subtrair(forma;escala;translação; inter-relação; percprof),n,traj)

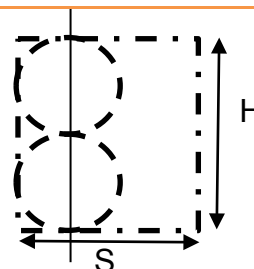
As repetições das regras se associam às repetições morfológicas em uma superfície, conferindo a ela uma determinada textura.

3.2.1.3 Teste de Solução

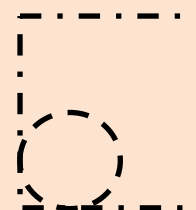
Keller (2012), diz que uma das diretrizes de concepção de um algoritmo é realizar um teste da solução, que corresponde à execução manual de cada passo do algoritmo, seguindo o fluxo estabelecido, para detectar possíveis erros. Sendo assim, foram geradas, além da GERATRIZ 1, mais três geratrizes (GERATRIZ2, GERATRIZ3 e GERATRIZ4), organizando sua extração através das funções formuladas anteriormente (CriarArea, Adicionar, Subtrair, Repetir e Finalizar), através de diferentes composição de uso. A GERATRIZ 2 (Quadro 13), mostra o uso aplicando-se a uma superfície de revolução com geratriz composta por duas operações principais: ADICIONAR e SUBTRAIR.

Quadro 13: Regras de Composição da GERATRIZ 2

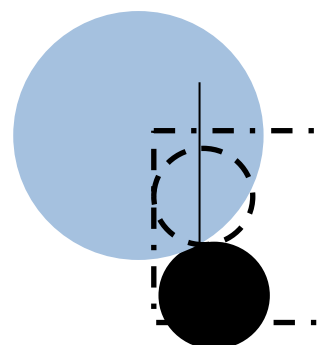
Regra 0 CriarArea(h,s,n)



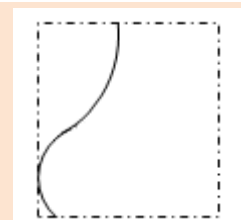
Regra 1 Adicionar(circulo; 1,1 * r ;5°,"união",10%)



Regra 2 Subtrair (circulo; 2,5 * r; -30°; "união",0%)



Regra 3 Finalizar()

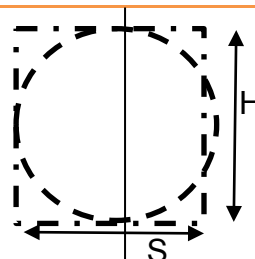


Fonte: Desenvolvido pela Autora

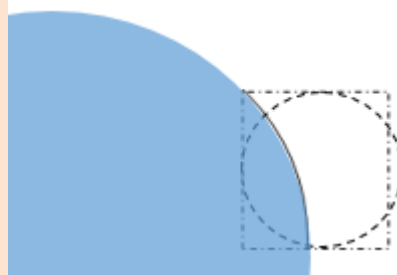
A extração da GERATRIZ3 demonstrada abaixo (Quadro 14), mostra novamente o uso do mesmo vocabulário constituído anteriormente porém aplicando-se a uma superfície de revolução com geratriz composta por uma única operação principal :

Quadro 14: Regras de Composição da GERATRIZ 3

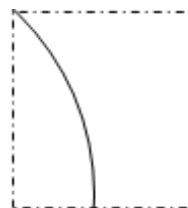
Regra 0 CriarArea(h,s,n)



Regra 1 Subtrair (circulo; $3,3 * r$; 45° ; "união", 50%)



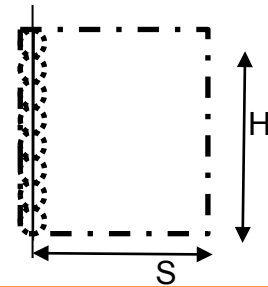
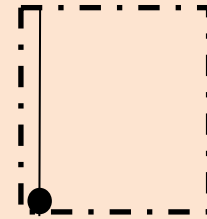
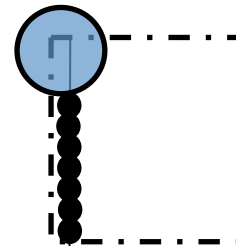
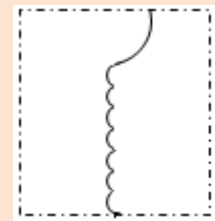
Regra 4 Finalizar()



Fonte: Desenvolvido pela Autora

A extração da GERATRIZ 4 demonstrada abaixo (Quadro 15), mostra o uso do mesmo vocabulário constituído anteriormente porém aplicando-se a uma superfície de revolução com geratriz composta por duas operações principais incluindo-se o reconhecimento do padrão “repetir”:

Quadro 15: Regras de Composição da GERATRIZ 4

Regra 0 CriarArea(h,s,n)**Regra 1** Repetir(Adicionar (circulo; $0,8 * r$; 0° ; "união",0%),7)**Regra 2** Subtrair (circulo; $3*r$; 20° ;"união",0%)**Regra 3** Finalizar()

Fonte: Desenvolvido pela Autora

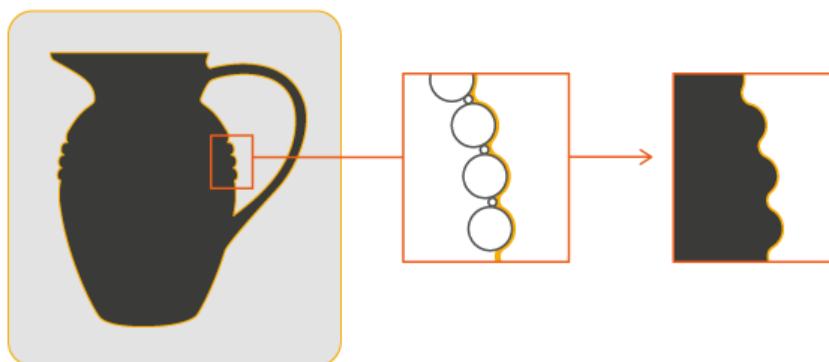
3.2.1.4 Tratamento da Coerência Estilística

A variação dentro de uma espécie no contexto biológico pode ter por origem uma variação dos genes. Os genes surgem de diferentes formas denominados alelos. Em uma população pode haver de um a muitos alelos diferentes de um gene, porém como os organismos transportam apenas um ou dois cromossomos por célula, qualquer indivíduo pode ser portador de um ou

dois alelos para um gene. Em consequência temos o conceito de genes recessivos ou dominantes, sendo os genes que não se manifestam em fenótipo, e os genes que se manifestam em fenótipo, respectivamente (LEWONTAIN et al, 1999).

No contexto da ferramenta de projeto, o gerenciamento da coerência estilística será desenvolvida considerando os conceitos do contexto natural, permitindo sinalizar a relação de relevância entre as diferentes regras gramaticais da Geratriz, ou seja, o quanto uma regra é mais importante que outra em termos de percepção visual (Figura. A informação de recessividade será informada em uma *flag* (R ou D) associada a cada regra. As regras “Criação de Área” e “Finalização” não serão pontuadas. Além disso, assim como na genética também será determinado um percentual de penetrância para genes dominantes, ou seja, a grau de dominância, onde um grau de 100% significa que o gene sempre prevalecerá em qualquer combinação genética futura. Na genética, o termo “Penetrância” é definido como a porcentagem de indivíduos com um determinado genótipo que exibem o fenótipo associado a este genótipo.

Figura 75: Grau de Dominância x Grau de Relevância Formal



Fonte: Desenvolvido pela Autora

A seguir (Quadro 16) podem ser observadas as cadeias de cromossomos compostas pela formulação das regras gramaticais para a Geratriz 1, 2, 3 e 4 de acordo com a composição do vocabulário. As operações foram divididas em genes que na ocasião das operações genéticas de mutação e combinação atuarão na manipulação da forma.

Quadro 16: Cadeia de Cromossomos

Cromossomo Geratriz 1			
Gene 1	CriarArea(h,s,n)		
Gene 2	Adicionar(circulo; 0,7 * r ; 10° ; "uniao",0%)	R	
Gene 3	Subtrair (circulo; 1,5 * r ; -30° ; "uniao",0%)	D	
Gene 4	Adicionar(circulo; 1,8 * r ; 20° ; "uniao",0%)	R	
Gene 5	Finalizar()		
Cromossomo Geratriz 2			
Gene 1	CriarArea(h,s,n)		
Gene 2	Adicionar(circulo; 1,1 * r ;5°,"união",10%)	D	
Gene 3	Subtrair (circulo; 2,5 * r ; -30° ; "união",0%)	R	
Gene 4	Finalizar()		
Cromossomo Geratriz 3			
Gene 1	CriarArea(h,s,n)		
Gene 2	Subtrair (circulo; 3,3 * r ;45°,"união", 50%)	D	
Gene 3	Finalizar()		
Cromossomo Geratriz 4			
Gene 1	CriarArea(h,s,n)		
Gene 2	Adicionar (circulo; 0,8 * r ;0° ; "união", 0%)	R	
Gene 3	Repetir(7)	D	
Gene 4	Subtrair (circulo; 3*r; 20°;"união",0%)	R	
Gene 5	Finalizar()		

Fonte: Desenvolvido pela Autora

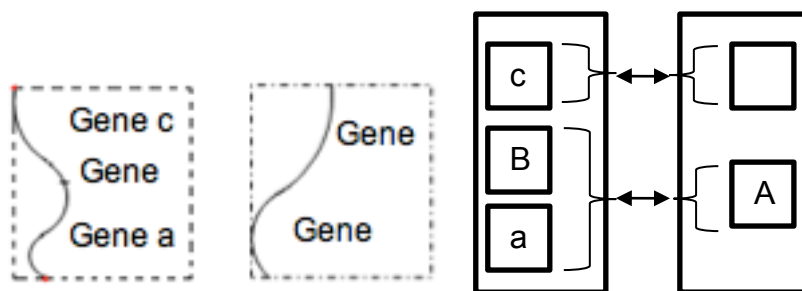
Para determinar a relevância, podem se usados os conceitos da Gestalt, descritas no Capítulo 2 (Fundamentação Teórica) deste trabalho e também unidades referenciais que já estão vinculadas à geometria da marca. De qualquer maneira, serão atribuídas pelo usuário (Designer) que estiver operando o plug-in GAIA. A informação de recessividade será informada através de atributo associado a cada regra (R – Recessivo ou D - Dominante).

3.2.1.5 Cruzamento Genético – Criação de Cromossomo duplo

Como exemplo, será demonstrado o cruzamento genético da Geratriz 1 com a Geratriz 2. Como não se tratam de cromossomos homólogos (não possuem o mesmo número de genes) será necessário fazer um **Equiparação entre os cromossomos (Alinhamento ou Pareamento)**. Cada gene será representado como uma letra maiúscula para dominância ou minúscula para recessividade.

Para realizar a equiparação são agrupados genes do maior cromossomo para compor um número compatível com o menor cromossomo. No exemplo descrito nos quadros acima a Geratriz 1 possui 3 regras e a Geratriz 2 possui 2 regras. Para tornarem-se homólogos, serão agrupados o **gene 1.a** e o **gene 1.B** (novo gene A') ocupando assim um *lócus* para o alelo correspondente na Geratriz 2, **gene 2.A**. O segundo **gene 1.c** (novo gene b') será o alelo de **gene 2.b**. Os agrupamentos de genes assumirão a função de um único gene e para tanto também herdarão as características de dominância e penetrância do gene dominante (Fig. 76).

Figura 76: Criação de Cromossomo Duplo



Fonte: Autor

O resultado da equiparação dos cromossomos (Figura 76), assim como na biologia, irá gerar um Fenótipo e um Genótipo. O Fenótipo será determinado pela existência de um Gene Dominante para Alelos Heterozigotos e no caso de Homozigotos Dominantes prevalecerá o maior percentual de penetrância.

3.2.2 Geração e Armazenamento de Dados

Para promover a geração e o armazenamento de dados de maneira a atender a estrutura do algoritmo genético, inicialmente é necessário compor a geratriz seminal através de parâmetros e configurar a(s) forma(s) receptora(s). A operação genética poderá ser feita de acordo com os requisitos do projeto, sendo possível promover o fluxo-gênico, a combinação ou a mutação.

A seguir (Fig. 77) as imagens demonstram a construção de uma sequência de extração de geratriz de membros de uma mesma família (Fig. 77 .A, Fig. 77.B e Fig. 77.C). Foi observada uma operação euclidiana que se repete em sequência, ainda que não possua o mesmo número de arcos. Este exemplo é utilizado para demonstrar como serão traduzidos os movimentos euclidianos para a linguagem gramatical da forma e em seguida estruturada de maneira cromossômica.

Figura 77: Composição de Geratrizes através de Arcos Tangentes



Fonte: Desenvolvido pela autora

O Quadro 17 a seguir, apresenta as relações Gene/Função/Parâmetro para cada uma das geratrizes da Figura 70, incluindo ainda um objeto que não pertence à marca (Geratriz 2) com o intuito de evidenciar a descontinuidade da formulação geométrica em relação aos objetos da marca. Inicialmente estabelece-se a criação de área que organiza a altura do objeto, através da função 'CriarArea' inicializando-se os seus parâmetros. Em seguida são identificados o número de objetos de vocabulário utilizados para cada geratriz e parametrizados através da função 'Adicionar'. A função 'Repetir' organiza a reincidência de movimentos e operações e a função 'Subtrair' orienta a direção da geratriz em relação ao eixo. As codificações (sequenciamento de genes) se retem até a finalização da composição geométrica euclidiana da forma.

Quadro 17: Sequência Cromossômica

Cromossomo Geratriz 1 A		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(8,5,8)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 15; 45°; "uniao"; 20%)	R
Gene 3	Adicionar(circulo; 4,5; -95°; "uniao"; 100%)	D 50%
Gene 4	Repetir(Adicionar (circulo; 0,3; -90°; "uniao"; 80%); Subtrair(circulo; 0,3; 90%; "uniao", 40%); 3; Gene3)	D 100%
Gene 5	Subtrair(circulo; 4,5; -30°; "uniao", 0%)	R
Gene 6	Finalizar()	

Cromossomo Geratriz 2 D		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(h,s,n)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 1,1*r; 5°; "uniao", 10%)	R
Gene 3	Adicionar(circulo; 1,1*r; 5°; "uniao", 10%)	R
Gene 4	Subtrair(circulo; 0,3; -30°; "uniao", 0%)	D 50%
Gene 5	Finalizar()	

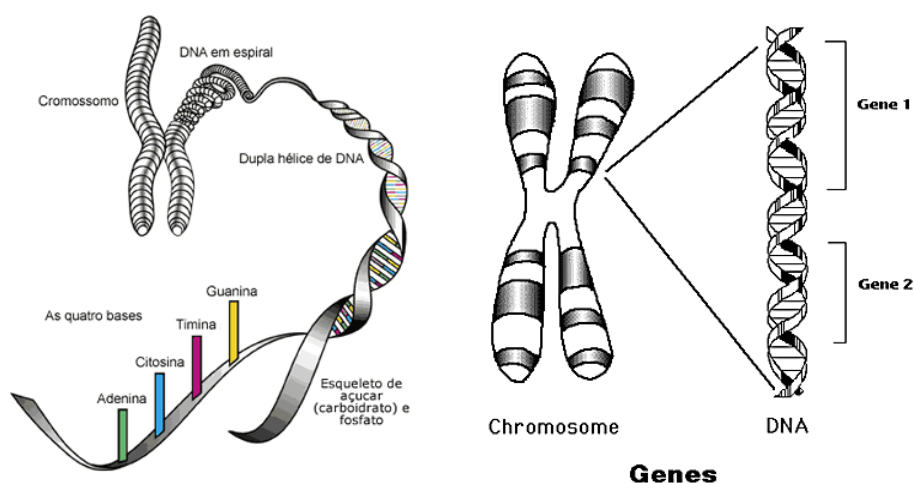
Cromossomo Geratriz 3 C		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(h,s,n)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 15; 45°; "uniao"; 20%)	D 50%
Gene 3	Adicionar(circulo; 4,5; -95°; "uniao"; 100%)	R
Gene 4	Repetir(Adicionar (circulo; 0,3; -90°; "uniao"; 80%); Subtrair(circulo; 0,3; 90%; "uniao", 40%); 3; Gene3)	D 100%
Gene 5	Subtrair(circulo; 4,5; -30°; "uniao", 0%)	R
Gene 6	Finalizar()	

Cromossomo Geratriz 4 B		
Gene	Função	Parâmetro
Gene 1	CriarArea(h,s,n)	
Gene 2	Adicionar(circulo; 4,5; -95°; "uniao"; 100%)	R
Gene 3	Repetir(Adicionar (circulo; 0,3; -90°; "uniao"; 80%); Subtrair(circulo; 0,3; 90%; "uniao", 40%); 3; Gene2)	D 100%
Gene 4	Subtrair(circulo; 4,5; -30°; "uniao", 0%)	R
Gene 5	Finalizar()	

Fonte: Desenvolvido pela autora

Na Biologia Moderna um conjunto completo de DNA de um organismo é chamado genoma. Um genoma é composto de longas moléculas de DNA, que são por sua vez, os componentes principais dos cromossomos. Cada cromossomo contém uma molécula de DNA que transporta muitos genes. Os compostos químicos do DNA são arranjos em grupos denominados nucleotídeos, cada um composto de um grupamento fosfato, uma molécula de açúcar desoxirribose e um de quatro bases nitrogenadas normalmente referenciadas pela primeira letra do seu nome, Adenina, Citosina, Timina e Guanina (A,C,T,G) (GRIFFITHS et al, 2001).

Figura 78: Arranjos de Moléculas



Fonte: (LEWONTIN, 2000)

Fazendo-se uma analogia com a estrutura seguida neste trabalho, foi adotado também o conceito de codificação por base, onde cada base corresponderá a um operador ou variável deste. Considerando as operações apresentadas anteriormente, a saber: Adicionar (forma; escala; translação; inter-relação; % profundidade); Subtrair (forma; escala; translação; inter-relação; % profundidade); e Repetir (regra-gene; número de repetições; regra-gene de trajetória), obtém-se as seguintes bases: A,S,R,C,I,X,Y,P,U,Z,N; onde A (Adicionar), S (Subtrair), R (Repetir), C ou I (Círculo ou Triângulo), X (escala), Y (translação), P ou U (Superposição ou União), Z (profundidade), N (número de repetições).

Considerando as regras descritas acima obtém-se a seguinte sequência de DNA (Fig. 79) para os cromossomos do Quadro 16.

Figura 79: Sequências Cromossômicas

Cromossomo/Geratriz 1

ACXYUZACXYUZRACXYUZSCXYUZN GENE-3 SCXYUZ

A C 15 45° U 20% A C 4,5 95° U 100% R A C 0,3 -90° U 30% S C 0,3 -90° U 40% 3 GENE-3 S C 4,5 -30 U 0%

Cromossomo/Geratriz 3

ACXYUZACXYUZRACXYUZSXYUZN GENE-3 SCXYUZ

A C 15 45° U 20% A C 4,5 95° U 100% R A C 0,3 -90° U 80% S C 0,3 -90° U 40% 3 GENE-3 S C 4,5 -30 U 0%

Cromossomo/Geratriz 4

ACXYUZRACXYUZSXYUZN GENE-2 SCXYUZ

A C 4,5 -95° U 100% R A C 0,3 -90° U 80% S C 0,3 -90° U 40% 3 GENE-2 S C 4,5 -30 U 0%

Fonte: Desenvolvido pela autora

Com esta notação formulada se torna possível adotar mecanismos que permitem observar o grau de similaridade evidenciado através do cruzamento das ocorrências.

3.2.3 Validação de Dados

Para avaliar o grau de similaridade entre duas geratrizes comparando-as, se utiliza o gráfico de pontos que consiste em uma forma de visualização que fornece um panorama de similaridade entre duas frequências (par a par). O gráfico de pontos é uma tabela ou matriz cujas as linhas correspondem a uma sequência, e as colunas, a outra sequência, o que significa que podem assumir um diferente número de itens, pois a avaliação está na ocorrência da relação linha x coluna. Na sua forma mais simples, as posições no gráfico de pontos são deixadas em branco se os valores forem diferentes, e preenchidas se eles forem iguais (Quadro 18). Segmentos de valores similares são mostrados como linhas diagonais (LESK, 2008).

Exemplo 1: Gráfico de Pontos mostrando a identidade entre o nome abreviado (DOROTHYHODGKIN) e o nome completo (DOROTHYCROWFOOTHODGKIN) de uma famosa cristalógrafa de proteínas.

Quadro 18: Exemplo 1 de Gráfico de Pontos

	D	O	R	O	T	H	Y	C	R	O	W	F	O	O	T	H	O	D	G	K	I	N
D	D																	D				
O		O		O						O			O	O			O					
R			R						R													
O		O		O						O			O	O			O					
T					T										T							
H						H										H						
Y							Y															
H						H										H						
O		O		O						O			O	O			O					
D	D																	D				
G																			G			
K																				K		
I																					I	
N																						N

Fonte: Adaptado de (LESK, 2008)

As letras correspondentes aos pareamentos idênticos isolados são mostrados como caracteres simples. As regiões com pareamentos idênticos longos, são o primeiro e o último nomes, DOROTHY e HODGKIN. Regiões de pareamento idêntico menor, como a OTH de dorOTHy e crowfoOTHodgkin, ou RO de doROthy e cROWfoot, são consideradas ruído.

Exemplo 2: Gráfico de pontos mostrando identidades entre uma sequência repetitiva (ABRACADABRACADABRA) e ela mesma (Quadro 19). As repetições aparecem em diagonais secundárias paralelas à diagonal principal.

Quadro 19: Exemplo 2 de Gráfico de Pontos

A	B	R	A	C	A	D	A	B	R	A	C	A	D	A	B	R	A
B	B							B							B		
R		R							R							R	
A			A		A		A			A		A		A			A
C				C							C						
A			A		A		A			A		A		A			A
D						D							D				
A			A		A		A			A		A		A			A
B	B							B							B		
R		R							R							R	
A			A		A		A			A		A		A			A
C				C							C						
A			A		A					A		A		A			A
D						D							D				
A			A		A		A			A		A		A			A
B	B							B							B		
R		R							R							R	
A			A		A		A			A		A		A			A
C				C							C						
A			A		A					A		A		A			A
D						D							D				
A			A		A		A			A		A		A			A
B	B							B							B		
R		R							R							R	
A			A		A		A			A		A		A			A

Fonte: Adaptado de (LESK, 2008)

Exemplo 3: Gráfico mostrando identidades entre a sequência palindrômica MAX I STAY AWAY AT SIX AM (Quadro 20). O palíndromo se revela como uma região de identidade perpendicular à diagonal principal.

Quadro 20: Exemplo 3 de Gráfico de Pontos

M	A	X	I	S	T	A	Y	A	W	A	Y	A	T	S	I	X	A	M
A	A					A		A		A		A					A	
X		X														X		
I			I												I			
S				S										S				
T					T								T					
A	A					A		A		A		A					A	
Y							Y				Y							
A	A					A		A		A		A					A	
W									W									
A	A					A		A		A		A					A	
Y							Y				Y							
A	A					A						A					A	
T					T								T					
S				S										S				
I			I												I			
X		X														X		
A	A					A		A		A		A					A	
M																		M

Fonte: Adaptado de (LESK, 2008)

Uma vez obtida a codificação das seqüências cromossômicas (Fig. 73) é possível incluí-las na matriz de pontos para comparar diferentes cromossomos. São comparados os Cromossomo 1 com 2, 1 com 3, 1 com 4 e assim obtém-se a análise de similaridade do gráfico de pontos. A seguir (Quadro 21) é possível verificar de maneira ilustrada o método de comparação de similaridade da geratriz 1 com a geratriz 2.

Quadro 21: Gráfico de Pontos Geratriz 1 x Geratriz 2

A	A	C	X	Y	U	Z	A	C	X	Y	U	Z	R	A	C	X	Y	U	Z	S	C	X	Y	U	Z	N	G3	S	C	X	Y	U	Z	
A	A						A							A																				
C		C						C							C							C												C
X			X						X							X						X										X		
Y				Y						Y							Y						Y									Y		
U					U						U							U					U									U		
Z						Z						Z							Z														Z	
A	A						A							A																				
C		C						C							C								C											
X			X						X							X							X											
Y				Y						Y							Y						Y											
U					U							U												U										
Z						Z							Z												Z									
S																																		
C		C						C								C																		
X			X						X								X						X											
Y				Y						Y								Y						Y										
U					U																				U									
Z						Z																				Z								

Fonte: Desenvolvido pela autora

A seguir (Quadro 22) é possível verificar de maneira ilustrada o método de comparação de similaridade da geratriz 1 com a geratriz 3.

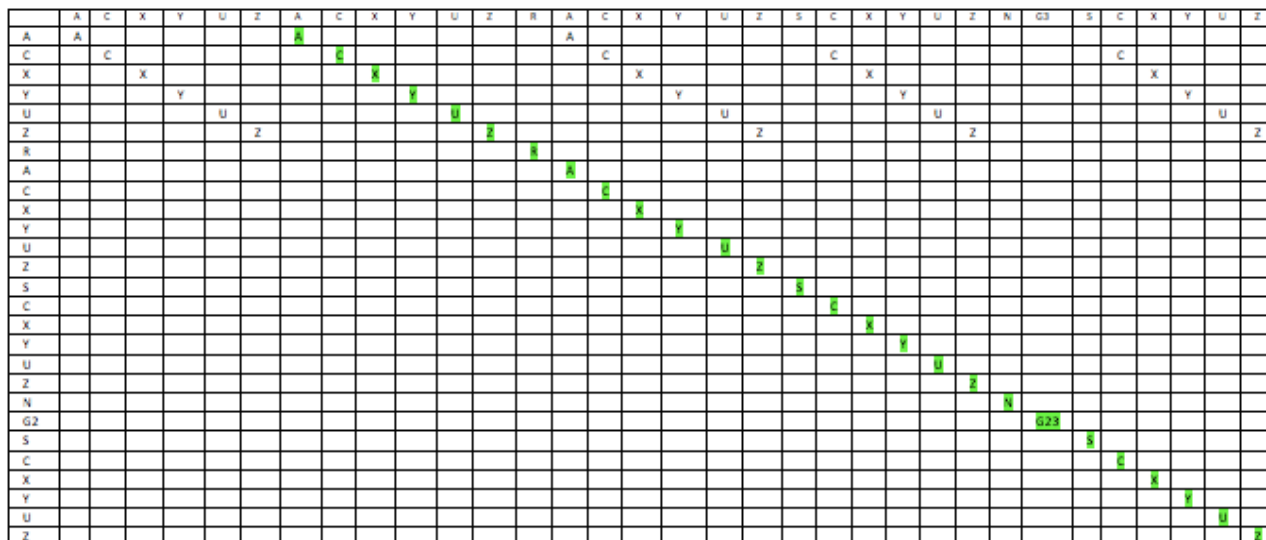
Quadro 22: Gráfico de Pontos Geratriz 1 x Geratriz 3

A	A	C	X	Y	U	Z	A	C	X	Y	U	Z	R	A	C	X	Y	U	Z	S	C	X	Y	U	Z	N	G3	S	C	X	Y	U	Z	
A	A						A							A																				
C		C						C							C																			
X			X						X							X							X											
Y				Y						Y							Y							Y										
U					U																				U									
Z						Z																				Z								
A	A						A							A																				
C		C						C							C																			
X			X						X							X								X										
Y				Y						Y							Y								Y									
U					U																					U								
Z						Z																					Z							
R																																		
A																																		
C																																		
X																																		
Y																																		
U																																		
Z																																		
S																																		
C																																		
X																																		
Y																																		
U																																		
Z																																		
N																																		
G3																																		
S																																		
C																																		
X																																		
Y																																		
U																																		
Z																																		

Fonte: Desenvolvido pela autora

A seguir (Quadro 23) é possível verificar de maneira ilustrada o método de comparação de similaridade da geratriz 1 com a geratriz 4.

Quadro 23: Gráfico de Pontos Geratriz 1 x Geratriz 4



Fonte: Desenvolvido pela autora

O gráfico de pontos captura em uma única figura não apenas a similaridade geral entre duas frequências, mas também um conjunto completo e a qualidade relativa dos diferentes alinhamentos possíveis. Porém para a automação e implementação é necessário definir medidas quantitativas de similaridade e de diferença entre sequências. Para tal **será utilizada a distância de Levenshtein** que pode consiste em uma técnica que pode operar com duas sequências de comprimentos distintos e **contabiliza o número mínimo de edições “operações de edição” necessárias para converter uma sequência em outra**, onde uma operação de edição é uma deleção, inserção ou alteração de um único caractere em uma das sequências (LESK, 2001).

3.2.3.1 Definição do Fitness

O Algoritmo Genético Evolutivo adotará um *Fitness* (Cálculo de Aptidão) na Resultante do Cruzamento Genético através de observação da solução de familiaridade genética entre o Objeto Modelo (Geratriz Seminal) e o Objeto resultante (Geratriz Emergente) do cruzamento genético, através da comparação das sequências cromossômicas de ambos. Para isso será usado o método aplicado pela disciplina da Bioinformática denominado cálculo de alinhamento de sequência.

O conceito de alinhamento de sequência é bastante usado em **biologia molecular** para o estudo de **Filogenia** ou ancestralidade comum, e graças a auxílio da computação a tarefa tem se mostrado eficaz (**Bioinformática**). Na prática duas sequencias de DNA, que são longas cadeias de nucleotídeos, são comparadas de forma a identificar padrões similares e a sua possível “distância” entre estas duas cadeias, ou seja, é atribuída uma pontuação de similaridade (LESK, 2010).

Na Bioinformática existem diversos algoritmos que apoiam a busca de padrões e pontuação de similaridade e neste trabalho foi adotada a distância de Levenshtein que mede a dissimilaridade entre duas sequências, onde: sequências similares apresentam pequenas distâncias e sequências dissimilares apresentam grandes distâncias. O escore do *Fitness* implementado considera as seguintes pontuações (Quadro 24):

Quadro 24: Definição do Fitness

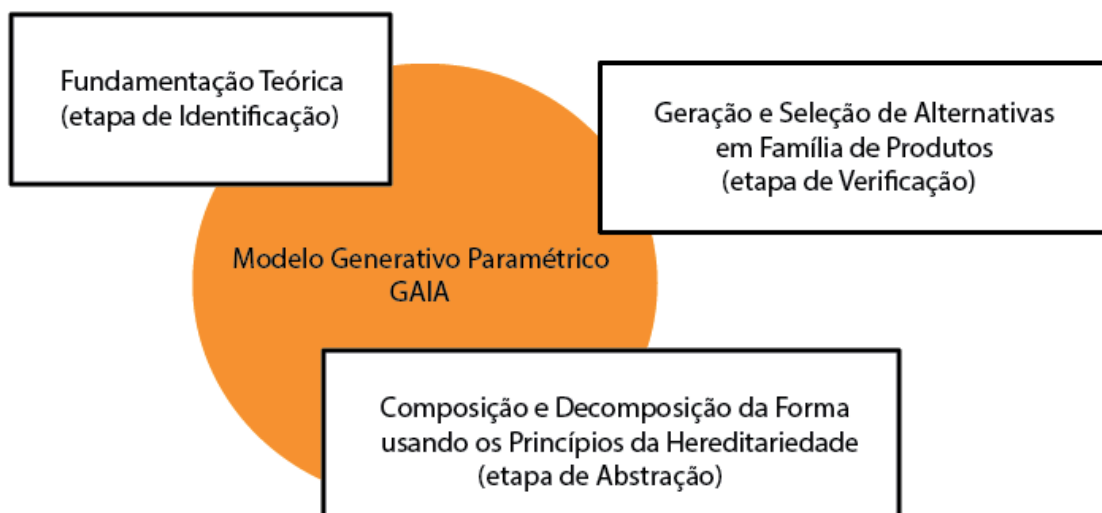
Ocorrência	Grau de Similaridade
Adicionar - Adicionar	Similar
Subtrair - Subtrair	Similar
Adicionar - Subtrair Subtrair - Adicionar	Não Similar
Escala	Similar até variação de 33%.
Translação Penetração	Similar até variação de 10%.

Fonte: Desenvolvido pela autora

3.2.4 Análise dos Dados

Nesta esta etapa da pesquisa são obtidos e analisados os dados de maneira quantitativa. Esta análise é feita partir da transcrição dos dados obtidos, da sua ordenação e classificação, por meio das características elencadas nas etapas de investigação, abstração e verificação. Sendo assim, é possível verificar desempenho do uso do modelo generativo paramétrico, baseado na composição estético-formal com aproximação de similaridade entre os pares, conforme os critérios de Levenshtein (LESK, 2010) e da triangulação (Fig. 80) entre os dados obtidos e analisados na etapa de pesquisa (fundamentação teórica) e etapa de abstração (princípios da hereditariedade).

Figura 80: Estratégia Desenvolvida pela Pesquisa



Fonte: Desenvolvido pela autora

Na coleta e análise dos dados referente à similaridade morfológica através da utilização dos princípios da hereditariedade implementados através da gramática da forma, as variantes são gravadas em arquivo lógico e após, estes resultados são ordenados e classificados. Os resultados obtidos por meio da análise de similaridade (operações geométricos relacionados aos operadores lógicos, transformações isométricas e paramétricas) são confrontados e com a versão seminal.

3.3 Etapa de Implementação

Para compor a família de produtos concebida através do modelo generativo proposto neste trabalho serão utilizadas embalagens de laticínios compostas de dimensões pré-determinadas que possibilitam atender aos critérios de peso e quantidade; e dimensionamentos de lotes, de embalagens de transporte e de pontos de venda. A marca de laticínios selecionada foi a Danone®, empresa que possui diversas submarcas do setor de iogurtes e bebidas lácteas dentre elas a Danoninho®. Os itens da submarca Danoninho® são produtos alimentícios voltados para o público infantil. Trata-se de um queijo fresco chamado *petit suisse*. Ele foi originado do produto francês "Danino", que também é distribuído em mercados consumidores ao redor do mundo pela Danone® e tal como Danoninho® possui um mascote (dinossauro) estampado nas suas embalagens. O conjunto de produtos da marca Danoninho é composto pela bandeja com oito potes de 45g, pelo pote com 100g, da versão em iogurte para beber de 900g também pelo Danoninho Para Levar, que vem em um saquinho de 70g, que depois de aberto pode ser fechado novamente e pode ser consumido em até cinco horas fora da geladeira (Fig. 81).

Figura 81: Produtos da marca Danoninho®



Fonte: www.danone.com.br/prdutos

O produto tem como mascote e garoto propaganda um dinossauro em desenho ilustrado, o Dino. Nas versões internacionais o personagem é azul, porém na versão brasileira ele é verde. Nas suas primeiras aparições o dinossauro era apresentado em suas proporções de maneira mais zoomórfica, mas no design atual ele tem uma aparência mais humana semelhante a uma criança. Em 2015 se tornou protagonista de uma série de animação no canal Disney Junior®. Nos últimos anos a Danone® migrou a ilustração bidimensional do mascote para o projeto glífico (aspecto morfológico da embalagem física), assumindo assim a geometria do formato na geometria da forma. Com isto foi gerado uma nova submarca denominada Dino Danoninho® (Fig. 82) que apresenta séries “coleccionável” com diferentes temáticas (profissões, esportes, personagens da literatura, etc.), e que além de preservar, fortalece a identidade visual do produto anterior, com o intuito de favorecer o reconhecimento por parte do consumidor (BAXTER, 1994).

Figura 82: Produtos da marca DinoDanoninho®



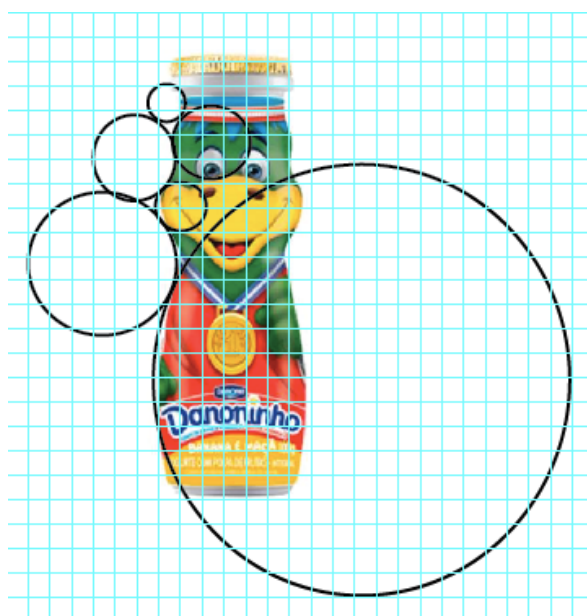
Fonte: www.danone.com.br/prdutos

Portanto, a escolha do produto DinoDanoninho® (Fig. 82) foi realizada por representar uma geometria que possui identidade formal e relevância para a marca Danone, e que em caráter hipotético para este trabalho fornecerá subsídios para a elaboração de uma família de produtos.

Lembrando que Elgard e Miller (1988) afirmam que a preocupação com a aderência visual do(s) novo(s) membro(s) em relação ao grupo, denominada gestão de coerência estilística que é uma das questões críticas em design de produto, e que a preservação da marca ou identidade da empresa também fornece segurança aos consumidores pois, se o consumidor já comprou produtos com esta marca, a identificação do novo produto com a mesma marca pode atrair a sua confiança. Para o consumidor os produtos da mesma linha podem apresentar características comuns, sendo que as vezes o próprio formato pode identificar o produto (BAXTER, 1998).

Sendo assim, a geratriz seminal do modelo generativo se estabelece a partir da embalagem de 180g da marca DinoDanoninho®, definida como uma superfície de revolução gerada a partir de uma geratriz composta de 6 (seis) arcos tangentes, e modelados de acordo com a Figura 83.

Figura 83: Composição de Arcos Tangentes da Embalagem do Produto DinoDanoninho®



Fonte: Desenvolvido pela autora

Os demais produtos modelados constituem os outros membros da família: embalagens de 45, 450 e 900 g; e a adoção do projeto gráfico da marca por uma empresa que produz produtos de higiene pessoal e que procura transferir para o seu produto o conceito, vínculo de significado e público-alvo para uma linha de produtos. Sendo assim, os produtos idealizados são: embalagem para desodorante, sabonete líquido e shampoo. O Quadro 25 apresenta os parâmetros iniciais de cada componente.

Quadro 25: Dimensões das Variações Formais

Embalagen Seminal			
Produto	Altura (mm)	Diâmetro	Nro Original de Arcos
logurte 180gr	10,2	43,5	6
Embalagens de Laticínios			
Produto	Altura (mm)	Diâmetro	Nro Original de Arcos
logurte 45gr	38,5	51,00	1
logurte 450gr	198,5	68,0	6
logurte 900gr	235,5	84,2	6
Produtos de Higiene Pessoal			
Desodorante 100ml	140,0	40,5	3
Sabonete Líquido 400ml	90,0	95,0	1
Shampoo 700ml	250,5	75,0	3

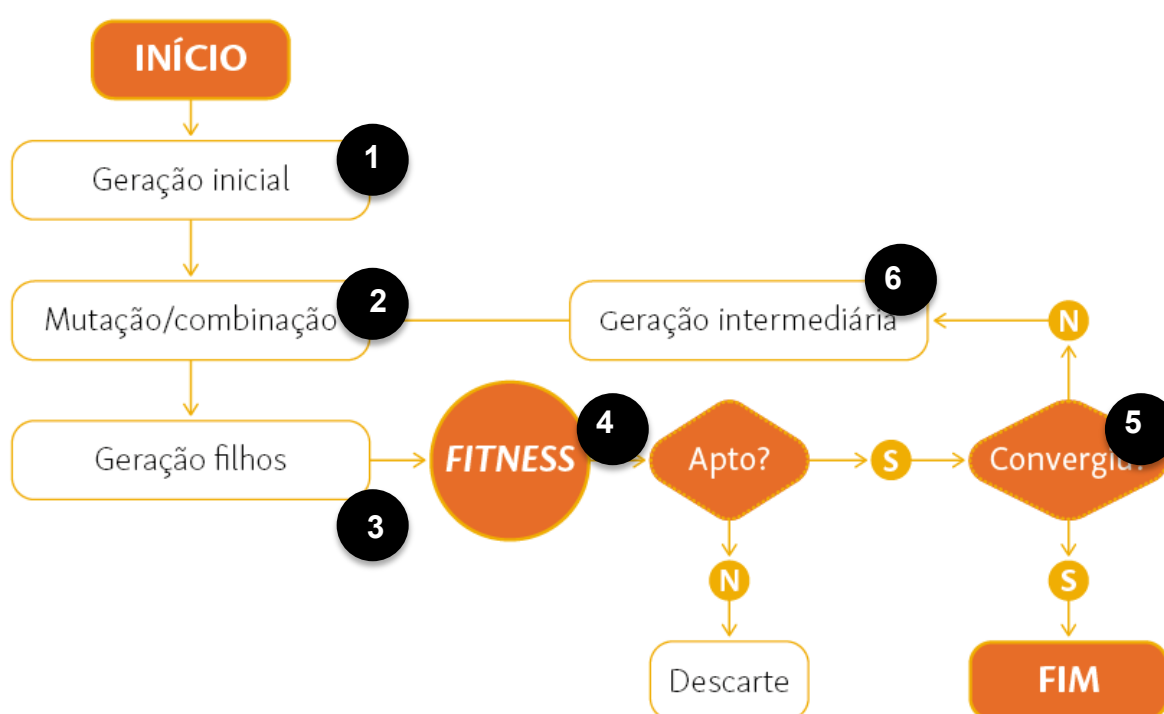
Fonte: Desenvolvido pela autora

As dimensões limites são consideradas como requisito para a aptidão das geratrizes emergentes, todavia é importante ressaltar que o cálculo de volume da embalagem, bem como o cálculo do volume de conteúdo deverá ter seu ajuste fino em etapa posterior à pré-seleção proposta por este trabalho, assim como os ajustes relativos aos demais requisitos do projeto.

3.3.1 Composição do Algoritmo Genético

Uma vez determinada a estratégia de adequação do tratamento das características estético-formais para composição de unidade formal entre membros de uma família de produtos, é possível organizar a implementação do algoritmo genético que irá automatizar a geração e seleção de alternativas de geratrizes candidatas e que, posteriormente, terão sua análise de viabilidade final avaliada pelo projetista que as confrontará com os demais requisitos do projeto. A Figura 84 apresenta o ciclo do algoritmo genético e na sequência estão as descrições de abordagem para cada etapa.

Figura 84: Composição do Algoritmo Genético



Fonte: Desenvolvido pela autora

A primeira etapa denominada **Geração Inicial** (Fig. 84.1) do algoritmo será atendida pela decomposição da geometria da geratriz seminal, decodificando o número de arcos tangentes, escala e translação, diâmetro e altura, conforme descrito no item 3.2.1.2 deste trabalho. Em seguida será usada a operação de fluxo gênico (descrita no item 3.2.1.1) para formar a primeira população. Nesta etapa também poderão ser usadas formas armazenadas em banco de dados (se houver) pois assim se ampliam as operações de combinação e mutação, favorecendo o uso de geometrias anteriores, demais morfologias já eventualmente utilizadas por uma família de produtos vinculada à marca, etc.

As **Operações de Combinação e Mutação** (Fig. 84.2) farão a troca ou substituição de regras (descritas no item 3.2.1.1) acomodadas em um ou mais gene que compõe o cromossomo, em número e posição de equivalência para a combinação e em número e posição de não equivalência para a operação de mutação. Computacionalmente haverá substituição de dados paramétricos. A **geração de filhos** (Fig. 84.3) consiste nas geratrizes emergentes a cada ciclo de mutação e combinação que são submetidas aos critérios do “*fitness*” – função objetiva responsável pela avaliação de similaridade morfológica.

O **Fitness** (Figura 84.4) opera a partir da implementação da matriz de pontos e onde o cálculo da similaridade é orientada pela distância de Levenshtein, conforme descrito no item 3.2.3.1 deste trabalho. O cálculo realizado, mensura o grau de similaridade conforme limiares pré-estabelecidos por atribuição do operador do modelo generativo. Cada geometria emergente recebe uma classificação que determinará o alcance da convergência ou a necessidade de nova geração intermediária.

A **convergência** (Fig. 84.5) é o parâmetro que limita o número de ciclos, ou de geratrizes emergentes; e a **geração intermediária** (Fig. 84.6) consiste na população apta porém ainda não refinada.

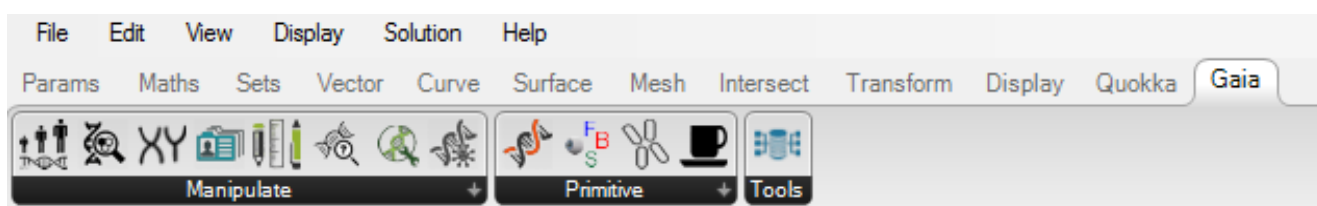
3.3.2 Estrutura do Modelo Computacional de Simulação

Para estruturar o modelo computacional de simulação foi adotado o software Grasshopper® que é um editor algoritmo gráfico integrado com as ferramentas de modelagem do Rhinoceros 3-D®, e que permite o desenvolvimento de plug-in's que estendem as suas funcionalidades através de programação. Portanto é possível desenvolver módulos funcionais integrados (plug-in's) com objetivos específicos, como no caso deste trabalho que irá implementar a possibilidade de geração de variantes formais a partir de uma forma seminal. Associado ao Grasshopper®, é também utilizado o banco de dados MongoDB®, que permite a organização e persistência dos dados. Para implementação do raciocínio evolutivo foi adotado o software Galápagos® que permite a geração e acompanhamento das subseqüentes gerações de indivíduos em algoritmos genéticos. A estratégia de programação utilizada é a Orientação à Objetos implementada através da linguagem VB.NET®.

3.3.2.1 Implementação da Interface

A imagem a seguir (Fig. 85) apresenta o menu de opções criado para organização das funcionalidades do *plug-in* desenvolvido neste trabalho.

Figura 85: Menu de Opções do Modelo Computacional



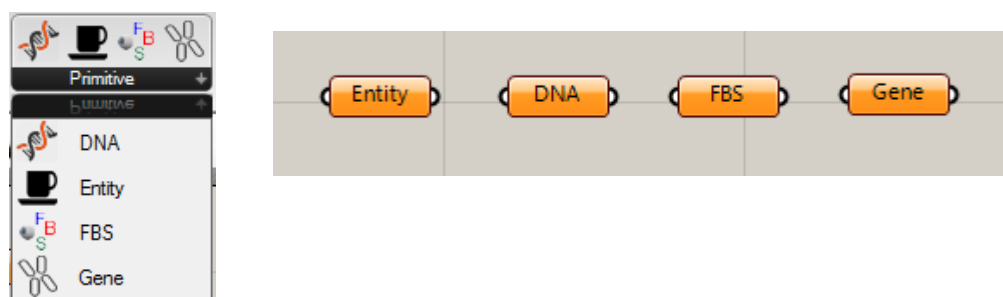
Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Inicialmente foram definidos 4 (quatro) objetos primitivos (Fig. 86) dentro do *Grasshopper*®, classificados como:

- (a) **Gene**: é composto por uma regra euclidiana que contém informações de vocabulário e é responsável pela geração de parte de uma geratriz.

- (b) **DNA**: é composto por um conjunto de genes equivalente a um cromossomo, que juntos compõem uma geratriz que representa um objeto gerado por revolução.
- (c) **FBS** (*Function – Behaviour - Structure*): é composto por três partes:
- Função**: Descrição textual da Função de um determinado Artefato;
 - Comportamento**: Descrição textual do atributo que pode ser proporcionado pela Estrutura do Objeto;
 - Estrutura**: é a descrição hierárquica descrita através de uma estrutura em árvore.
- (d) **Entidade**: compõem uma estrutura complexa formada por partes e que é descrita por uma lista de FBS's e DNA's.

Figura 86: Objetos Primitivos



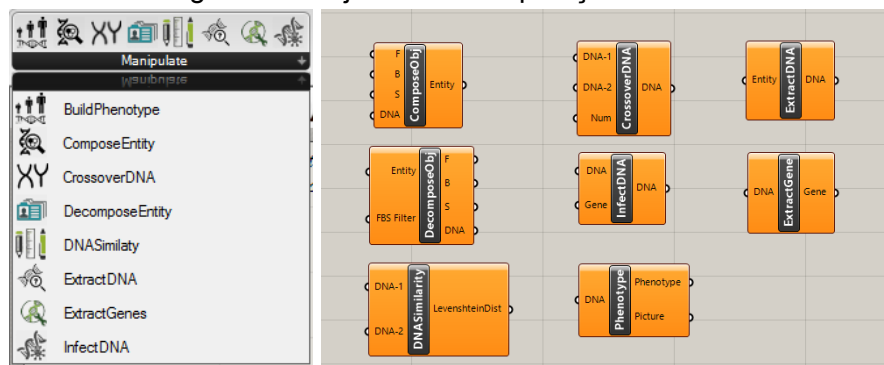
Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Em seguida, foram definidos 8 (oito) objetos responsáveis pela manipulação da estrutura dos dados (Fig. 87):

1. **ComposeObj** - é responsável por compor uma Entidade a partir de suas partes sendo elas FBS e DNA.
2. **DecomposeObj** – é responsável por desmembrar/decompor uma entidade em suas partes, FBS e DNA. Adicionalmente existe uma opção de filtro FBS para que seja possível extrair apenas parte da entidade que atenda o critério de filtro.
3. **ExtractDNA** – é responsável pela extração direta de todo DNA de uma entidade.
4. **ExtractGene** – é responsável pela extração da sequência (lista) dos genes de um DNA.

5. **CrossoverDNA** – É responsável pelo pareamento e cruzamento entre dois diferentes DNA's. Nesse processo são informados dois DNA's parentais na entrada e um número de DNA's resultantes. Como saída haverá novos DNA's resultados do cruzamento dos parentais.
6. **InfectDNA** – é responsável pela “infecção” ou “transposição” de um gene externo a um DNA. Esse processo não possui nenhum pareamento e faz a escolha do gene a ser substituído de forma aleatória.
7. **DNASimilarity** – é responsável por comparar dois DNA's e medir a distância de similaridade de *Levenshtain* entre as duas sequências. O resultado é um valor inteiro.
8. **Phenotype** – é responsável por gerar um “fenótipo” de um uma sequência de DNA. Nesse contexto o fenótipo será uma geratriz que dará origem a uma forma através da revolução desta. Adicionalmente através deste objeto será apresentada a imagem de visualização final da forma.

Figura 87: Objetos de Manipulação de Dados



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Foi ainda definido um objeto responsável pelo armazenamento e busca de formas, denominado “Objeto Gaia” que será responsável pela busca de artefatos/entidades em uma base de dados estruturada. É possível definir como critério de busca dois filtros, um pela FBS e outro pelo número de entidades que devem ser retornadas na saída. Sendo assim possível criar filtros de entidades através de atributos.

3.3.2.2 Implementação de Algoritmos e Classes

Para a codificação das funcionalidades previstas nesta proposta, é usada a linguagem de programação VB.NET® que implementa uma extensão (“*plug-in*”) da ferramenta Grasshopper®. O desenvolvimento foi estruturado em uma arquitetura de Objetos/Classes. A seguir, é descrita a estrutura que compõem a tradução genética para o ambiente computacional definido, através vocabulário genético. Em seguida, são descritas as operações genéticas implementadas e os módulos adicionais. Para fins de padronização de codificação computacional foram adotadas nomenclaturas na língua inglesa que é o mesmo padrão de Grasshopper®.

3.3.2.3 Vocabulário Genético

Conforme já descrito no capítulo 3.2.1.2 (Transcrição do Vocabulário Genético para o Computacional) foi modularizado o vocabulário genético em 5 operações/regras básicas: ‘Criar Área’ (Gene Área), ‘Adicionar’ (Gene de Adição), ‘Subtrair’ (Gene de Subtração), ‘Repetir’ (Gene de Repetição) e ‘Finalizar’ (validação). Estas operações foram implementadas em quatro Classes (que tem como Herança uma Classe primordial (pai) que descreve as características compartilhadas entre as demais Classes (Fig. 88).

GHObjectGene – Classe primordial onde grande parte da implementação das funcionalidades foram desenvolvidas, incluindo método de comparação entre genes. O objetivo geral foi otimizar todas propriedades, atributos e funcionalidades que posteriormente serão transferidas para classes na hierarquia de herança (de classe pai para filho). Entre os principais atributos destacam-se:

- Diâmetro (diameter) – diâmetro da circunferência
- Interrelação (inter) – é um valor binário que determina a sobreposição entre a forma anterior (da sequência de genes do DNA). Pode ser “sub” ou “sob”, subposto o sobposto.
- Penetração (penetration) – é o valor percentual que determina o quanto uma forma penetra em outra, e que pode ser positivo ou negativo, se aproximando ou distanciando da forma respectivamente. O ‘Zero’ percentual determina que uma forma toca a outra.
- Pregnância – é o valor percentual que determina a Dominância de um Gene, normalmente inicializado com 0%.
- Escala (scale) – escala que determina dimensão da forma com base em um valor inicial que é uma resultante da altura total do objeto e o número de elementos de vocabulário, “NEV”, assim determinando uma relação de proporção entre formas (descrito no capítulo 3.1 [Extração de Gramática do Formato Seminal])
- Forma (shape) – neste trabalho foram adotadas apenas duas formas, o círculo e triângulo.
- Translação (translation) – é a rotação ou translação de uma forma em relação a forma anterior (da sequência de genes do DNA)
- Tolerância (tolerance) – hiper-parâmetro que define grau de variância entre variáveis de diferentes genes.

ObjGeneAddiction – Classe que tem como funcionalidade representar um Gene de Adição de forma.

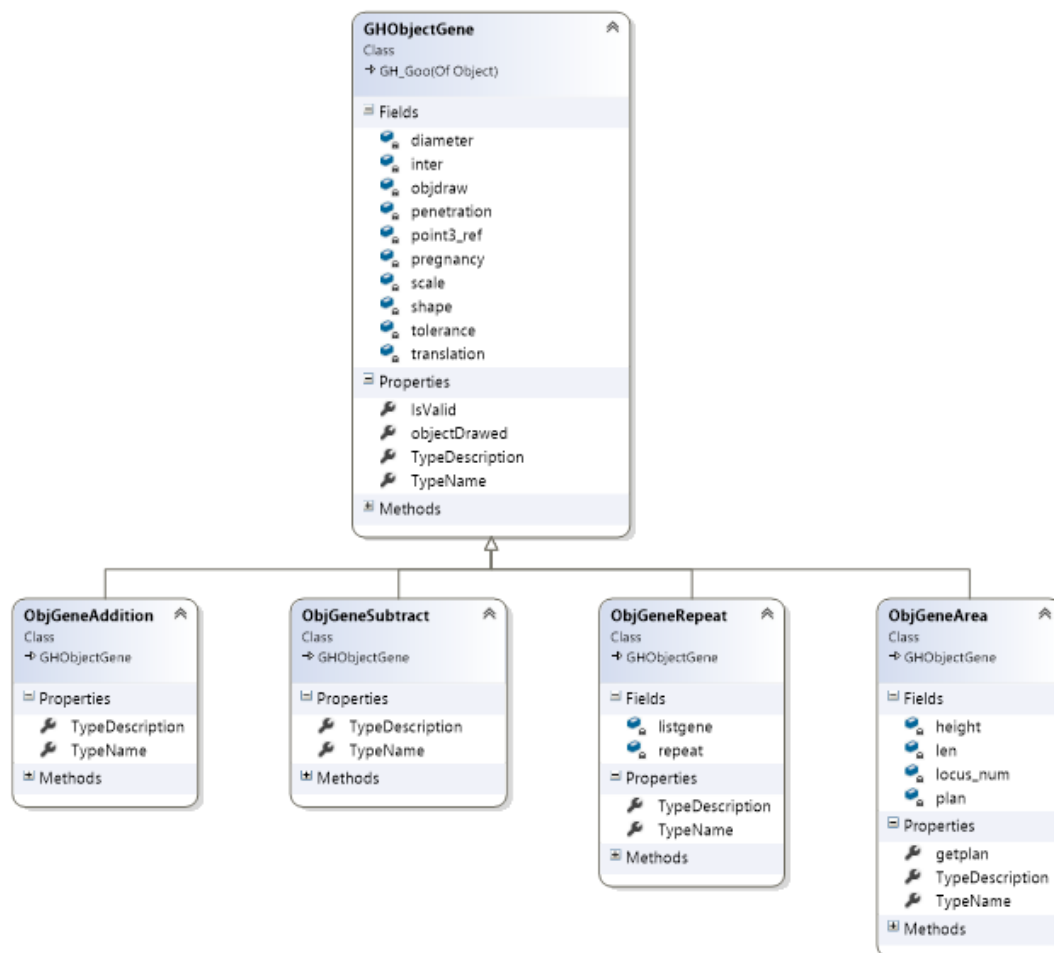
ObjGeneSubtract – Classe que tem como funcionalidade representar um Gene de Subtração de forma.

ObjGeneRepeat – Classe que tem como funcionalidade representar uma Gene de Repetição de formas.

ObjGeneArea – Classe que tem como funcionalidade representar o Gene inicial de um DNA. Neste genes estão representados importantes informações

do DNA, como número de locus existentes (locus_num) e altura total do objeto (height).

Figura 88: Diagrama de Classes de Genes



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Importante ressaltar que a regra de ‘Finalização’ foi traduzida como um atributo das quatro classes implementadas e que representa a consistência e a integridade. Outro ponto importante da gramática genética referente ao gerenciamento de coerência estilística descrita no item 3.2.3.1 é que a mesma foi também implementada através de uma Propriedade.

3.3.2.4 Operações Genéticas

As operações genéticas estão divididas conceitualmente em três grupos: Composição e Decomposição (Fig. 89) e Análise de Similaridade (Fig. 84), e Manipulação Genética. O grupo Composição e Decomposição é composto por:

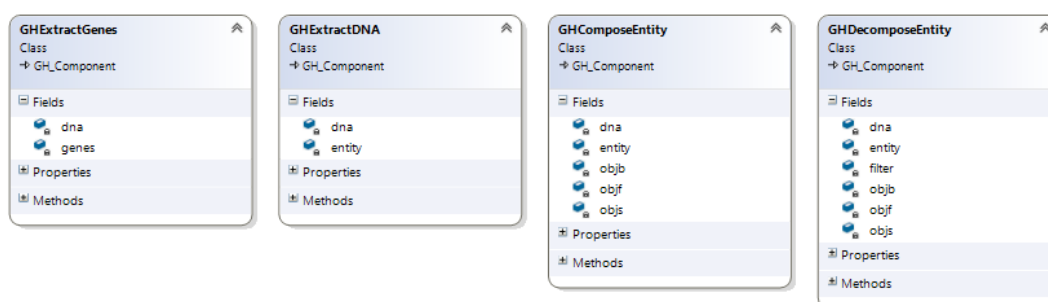
Classe de Extração de Genes (GHExtractGenes) – Classe responsável pela decomposição de um objeto DNA em uma lista de objetos de genes.

Classe de Extração de DNA (GHExtractDNA) – Classe responsável pela decomposição de um objeto Entidade em um Objeto DNA.

Classe de Composição de Entidade (GHComposeEntity) – Classe responsável pela composição de um Objeto Entidade a partir de um Objeto DNA e três variáveis que definem o conceito FBS.

Classe de Decomposição de Entidade (GHDecomposeEntity) – Classe que é responsável por desmembrar/decompor uma Entidade em suas partes, FBS e DNA. Adicionalmente existe uma opção de filtro FBS para que seja possível extrair apenas parte da Entidade que atenda o critério de filtro.

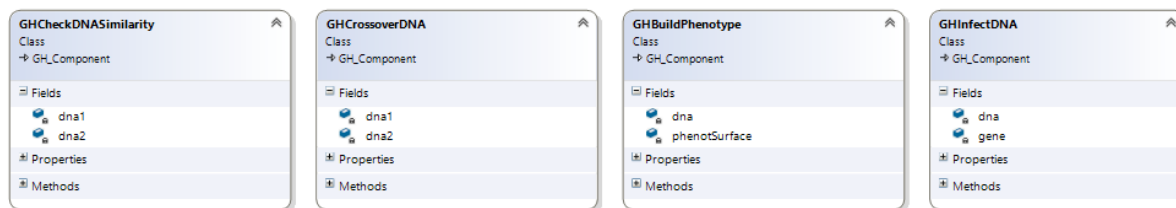
Figura 89: Classes de Composição e Decomposição



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Para analisar a similaridade morfológica das entidades, foi prevista uma classe denominada **Verificação de Similaridade (GHCheckDNASimilarity)** – responsável pela comparação de dois *Objetos* DNA's e resulta como saída um valor numérico que apresenta a distância de Similaridade de *Levenshtein* entre os dois DNA's (Fig. 90).

Figura 90: Classes de Operações e Validações



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

O resultado é um valor inteiro que representa a distância combinacional ou distância de edição que é o número mínimo de operações necessárias para transformar um DNA no outro, ou seja, torná-los iguais. Na Figura 91 é possível visualizar o algoritmo implementado em VB.NET.

Figura 91: Implementações em VB.NET da distância de Levenshtein

```

1 reference
Public Function LevenshteinDistance(d1 As GHObjectDNA, d2 As GHObjectDNA) As Integer
    Dim n As Integer = d1.Value.countGene - 1
    Dim m As Integer = d2.Value.countGene - 1
    Dim d(n + 1, m + 1) As Integer

    If n = 0 Then
        Return m
    End If

    If m = 0 Then
        Return n
    End If

    Dim i As Integer
    Dim j As Integer

    For i = 0 To n
        d(i, 0) = i
    Next

    For j = 0 To m
        d(0, j) = j
    Next

    For i = 1 To n
        For j = 1 To m

            Dim cost As Integer
            If d1.Value.getGene(i).compareGene(d2.Value.getGene(j)) Then
                cost = 0
            Else
                cost = 1
            End If

            d(i, j) = Math.Min(Math.Min(d(i - 1, j) + 1, d(i, j - 1) + 1),
                d(i - 1, j - 1) + cost)
        Next
    Next

    Return d(n, m)
End Function

```

Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Adicionalmente, para apoiar o algoritmo de *Levensthein* foi desenvolvido também um método de comparação entre dois Genes. A implementação (Fig. 92) prevê a comparação das variáveis internas de cada Gene usando um hiperparâmetro que define a tolerância entre as variações numéricas de cada variável.

Figura 92: Implementação de Comparação de Igualdade entre Genes

```

D referencias
Public Function compareGene(p As GHObjectGene) As Boolean
    ' aqui será detalhado o conceito de similaridade entre dois DNA's com prioridades . Incluir pregnancia aqui!!(depois)
    If Me.getInter = p.getInter And Me.getShape = p.getShape And Me.Value.GetType = p.Value.GetType Then ' a Interlação,shape e tipo são mandatoria
        If Math.Abs(Me.getScale - p.getScale / Me.getScale) < (tolerance) Then ' Tolerancia de 10% (Hiperparametro)
            If Me.getAngle = p.getAngle Or (Math.Abs(Me.getAngle - p.getAngle / Me.getAngle) < (tolerance)) Then ' Tolerancia de 10% (Hiperparametro)
                If Me.getPenetration = p.getPenetration Or (Math.Abs(Me.getPenetration - p.getPenetration / Me.getPenetration) < (tolerance)) Then ' Tolerancia de 10% (Hiperparametro)
                    Return True
                End If
            End If
        End If
    End If
    Return False
End Function

```

Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Para implementar as operações genéticas de manipulação, foram definidas duas classes:

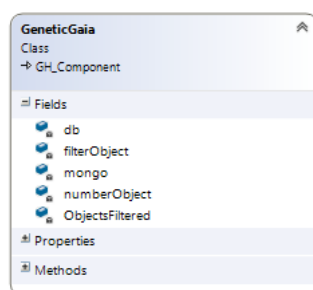
Cruzamento Genético (GHCrossoverDNA) – Classe responsável por implementar o cruzamento de Genes entres dois Objetos DNA. Nesse processo dois Objetos DNA parentais são usados como entrada juntamente com um número que representará o número de filhos gerados, os Objetos DNA resultantes. Foi implementado também um método de pareamento conforme descrito no item 3.2.1.5 (Cruzamento Genético – Criação de Cromossomo duplo).

Infectar DNA (GHInfectDNA) – Classe responsável por transpor genes de forma aleatória em uma cadeia de DNA. Este processo imita um processo de infecção ou transgenia existente na natureza.

3.3.2.5 Persistência e Busca em Base de Dados

Base de Dados (GeneticGaia) – nesta Classe foi implementado um conector de Banco de Dados (Fig. 93) que permite a busca de objetos do tipo Entidade que previamente já foram persistidos e estão salvos. É possível definir dois filtros como critério de busca, um pela FBS e outro pelo número de Entidades que devem ser retornadas na saída, sendo assim possível criar filtros de Entidades através de atributos.

Figura 93: Classe de Base de Dados (GAIA)



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

3.3.2.6 Módulos Complementares

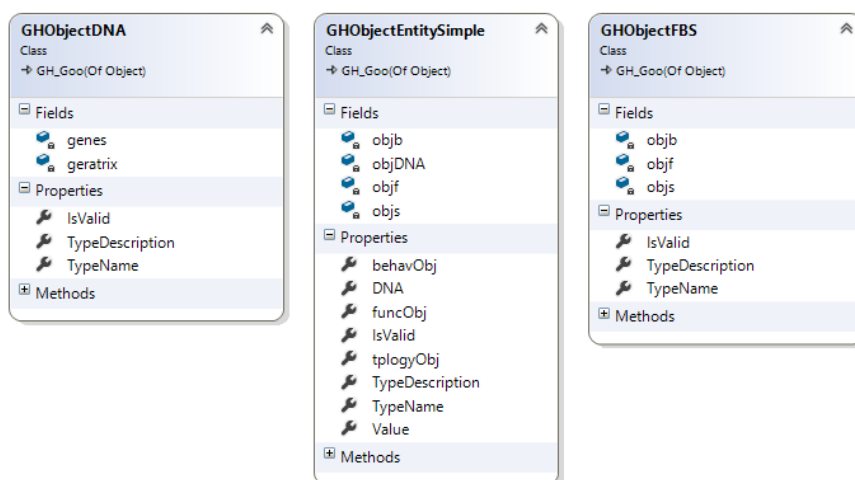
Foram ainda desenvolvidos 3 (três) Classes complementares (que permitem a manipulação e a persistência de estrutura de dados (Fig. 94):

Classe de DNA (GHObjectDNA) – Classe que representa uma estrutura de DNA, composto por um atributo contendo uma lista de Genes. Também possui uma geratriz como atributo que representa o resultado da cadeia de DNA.

Classe de Entidade (GHObjectEntitiySimple) – Classe que representa uma Entidade física e para tanto é composta por um Objeto de DNA e mais três atributos que compõem o descritivo FBS.

Classe de FBS (GHObjectFBS) – Classe que representa o conceito FBS e é composta por três atributos F, B e S.

Figura 94: Módulos Complementares



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

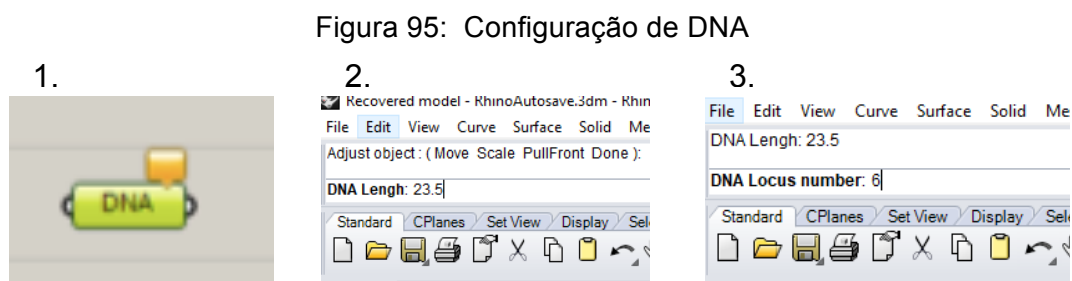
A partir da implementação do modelo generativo descrito acima, foi possível além de desenvolver o plug-in que implementa o algoritmo genético previsto neste trabalho, com a função específica gerar variantes formais, incorporar as funcionalidades da ferramentas digitais utilizadas. A implementação também permitiu a verificação da viabilidade da proposta principalmente no que tange às traduções semânticas envolvidas (Operações Geométricas, Operações Genéticas e Operações Lógico-Matemáticas).

4 Coleta e Análise de Dados

A etapa de coleta de dados consiste na decomposição da forma seminal que dará origem a geratriz seminal da família de produtos; a parametrização da geratriz inicial; a parametrização das formas receptoras; a manipulação genética e a geração e pré-seleção de alternativas.

4.1 Parametrização de Geratrizes

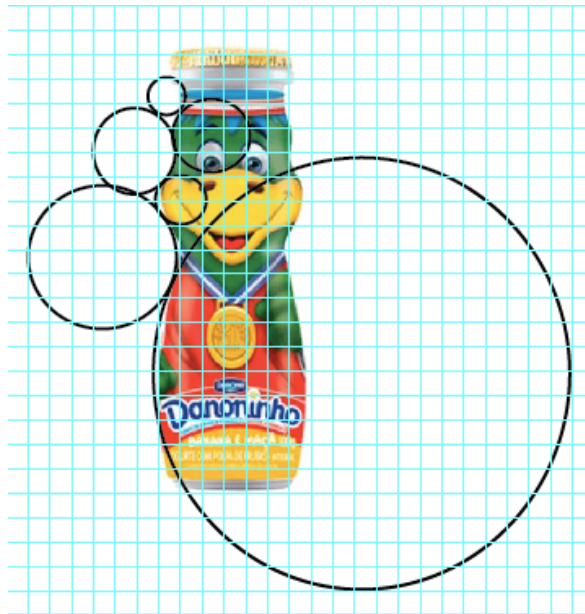
Inicialmente é necessário configurar o cromossomo da geratriz inicial, a partir dos dados coletados durante o processo de decomposição da forma. Através do plug-in é selecionado a função “Adicionar DNA” (Figura 95.1) e em seguida definido a altura em centímetros (Figura 95.2) e o número de Genes que correspondem ao número de locus, ou seja, a definição da quantidade de arcos (Figura 89.3)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Uma vez configurado o objeto “DNA” da geratriz inicial, é possível observar a estrutura inicial dos círculos que após as operações de transformação irão corresponder aos arcos tangentes que formam a geratriz. Na Figura 96 é possível observar a quantidade e os movimentos dos arcos tangentes.

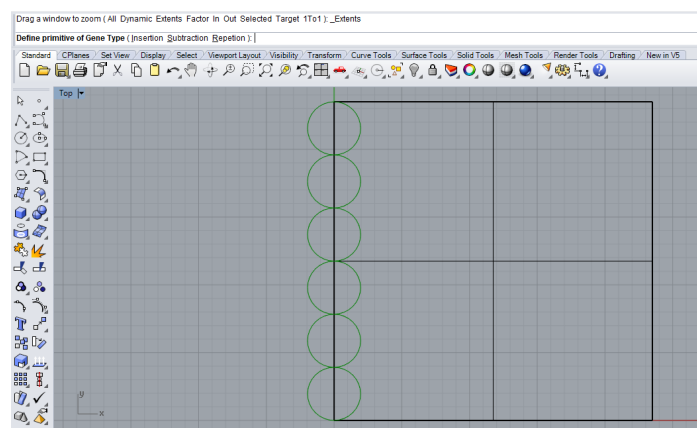
Figura 96: Arcos Tangentes DinoDanoninho®



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Sendo assim, a configuração do cromossomo da geratriz seminal inicia o desenvolvimento da família de produtos pois determina as características que serão transmitidas. O cromossomo é inicializado com o número de genes, a altura e o diâmetro (Fig. 97)

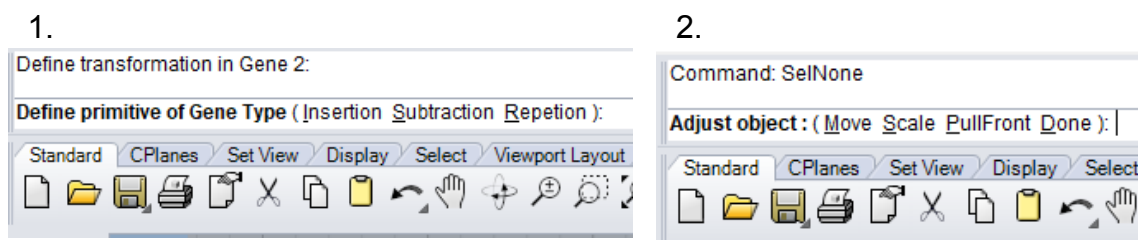
Figura 97: Configuração de Cromossomo (DNA)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

A partir de então cada um dos genes (seis neste estudo de caso) é manipulado através dos operadores de transformação para que possam assumir a dimensão e posição de acordo com o movimento da curva da geratriz. No caso do Gene1, são necessárias as operações de Translação (Figura 98.1) e Escala (Figura 98.2).

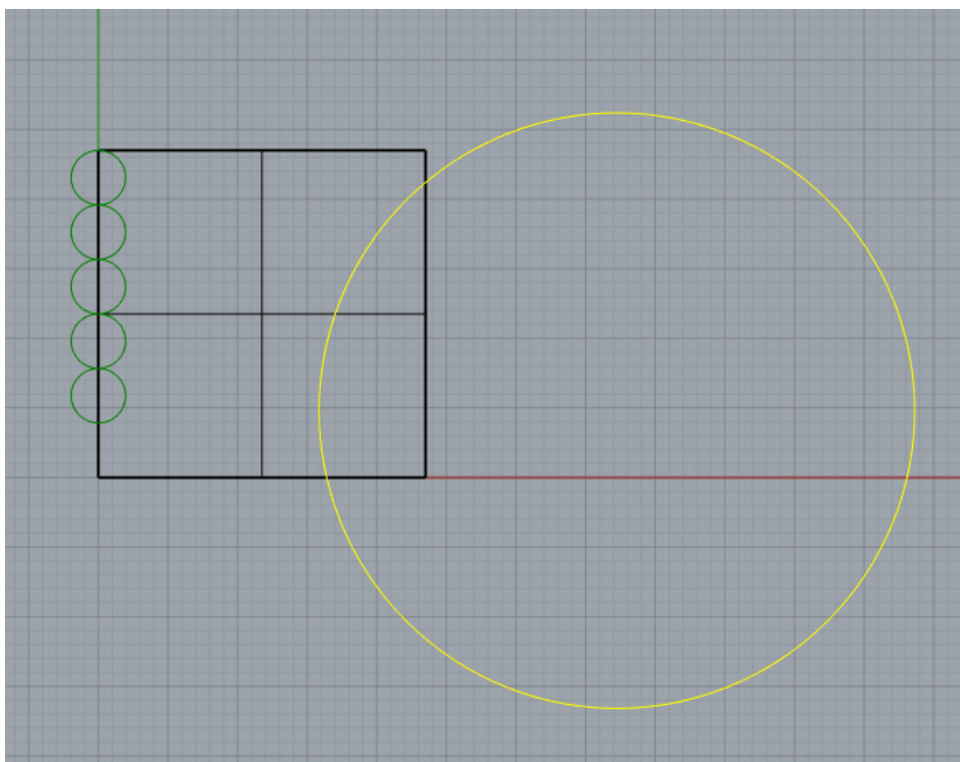
Figura 98: Configuração do Gene1



Fonte: Desenvolvido pela Autora

O resultado obtido corresponde ao trecho inicial da geratriz seminal. A Figura 99 apresenta o resultado das operações de translação e escala.

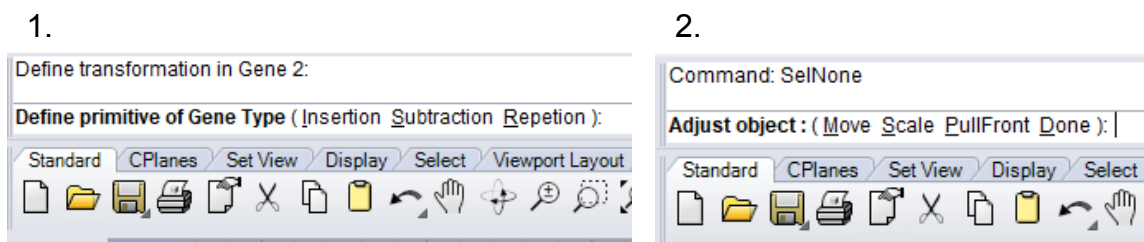
Figura 99: Configuração do Gene1 – Operações



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Em seguida, ocorre a configuração do segundo gene que compõe o cromossomo da geratriz inicial, através das operações de translação e escala (Fig. 100)

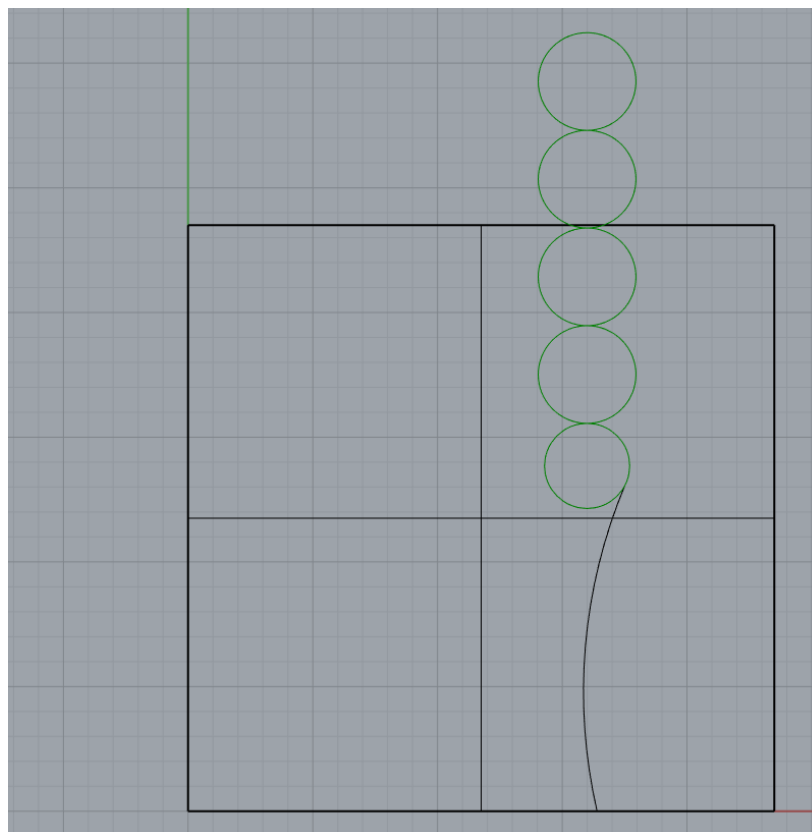
Figura 100: Configuração do Gene2



Fonte: Desenvolvido pela Autora

O resultado obtido corresponde ao trecho inicial da geratriz seminal. A Figura 101 apresenta o resultado das operações de translação e escala.

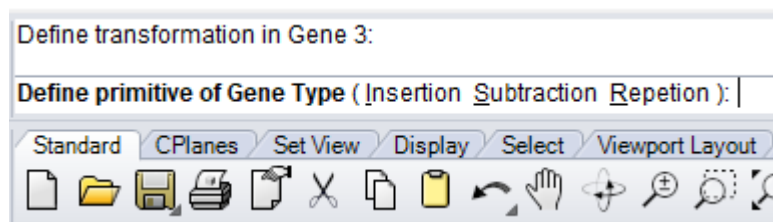
Figura 101: Configuração do Gene2 – Operações



Fonte: Desenvolvido pela Autora

A seguir, ocorre a configuração do segundo gene que compõe o cromossomo da geratriz inicial, através das operações de translação e escala (Fig. 102)

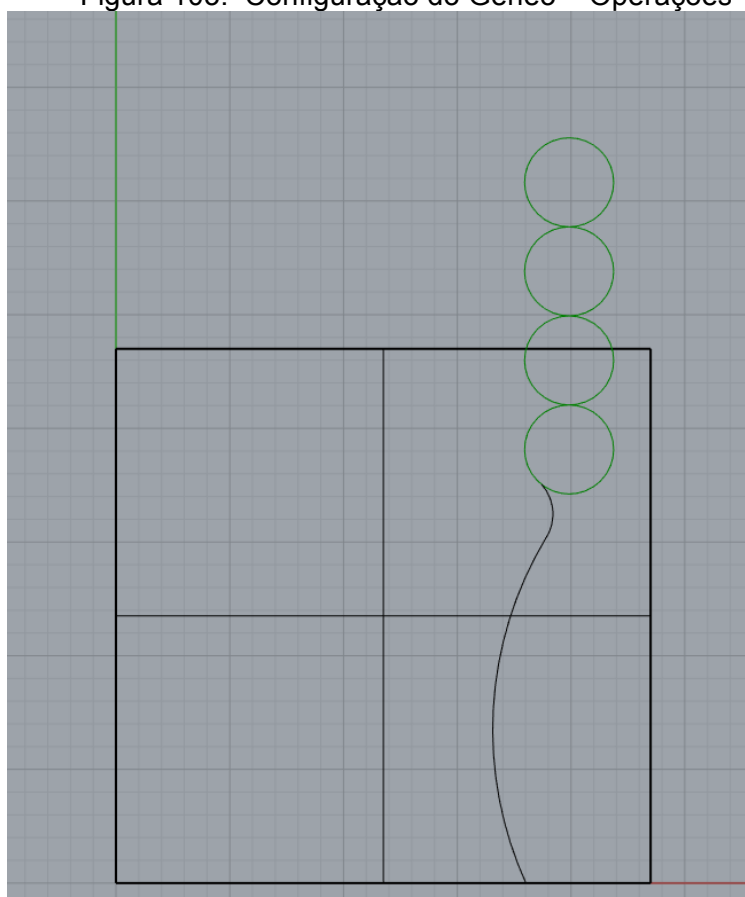
Figura 102: Configuração do Gene3



Fonte: Desenvolvido pela Autora

O resultado obtido corresponde ao trecho inicial da geratriz seminal. A Figura 103 apresenta o resultado das operações de translação e escala.

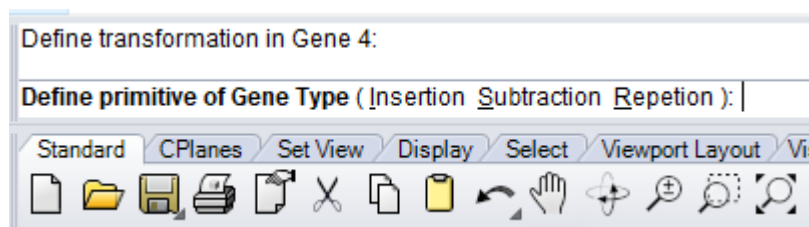
Figura 103: Configuração do Gene3 – Operações



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Em seguida, ocorre a configuração do segundo gene que compõe o cromossomo da geratriz inicial, através das operações de translação e escala (Fig. 104).

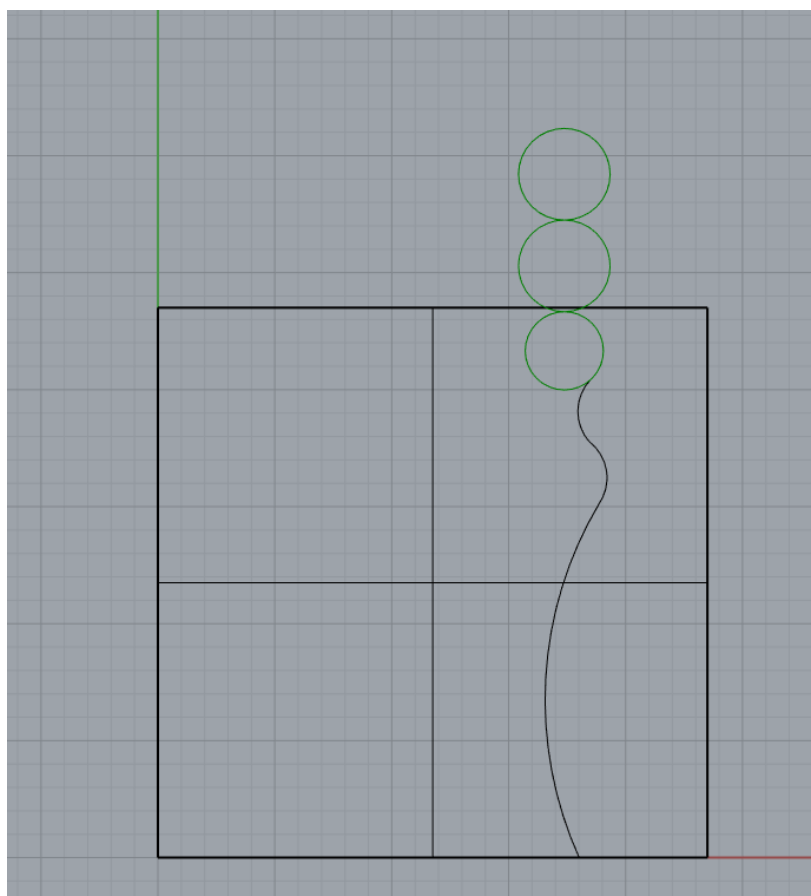
Figura 104: Configuração do Gene4



Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

O resultado obtido corresponde ao trecho inicial da geratriz seminal. A Figura 105 apresenta o resultado das operações de translação e escala.

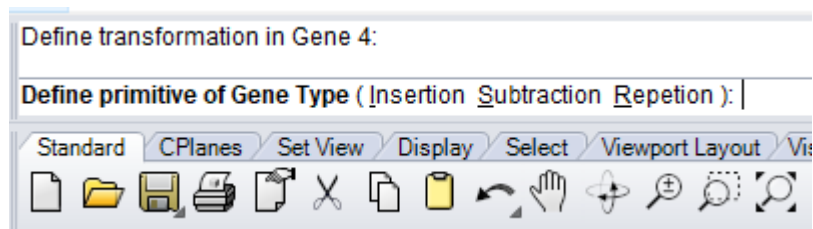
Figura 105: Configuração do Gene4 – Operações



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Na sequência, ocorre a configuração do segundo gene que compõe o cromossomo da geratriz inicial, através das operações de translação e escala (Fig. 106).

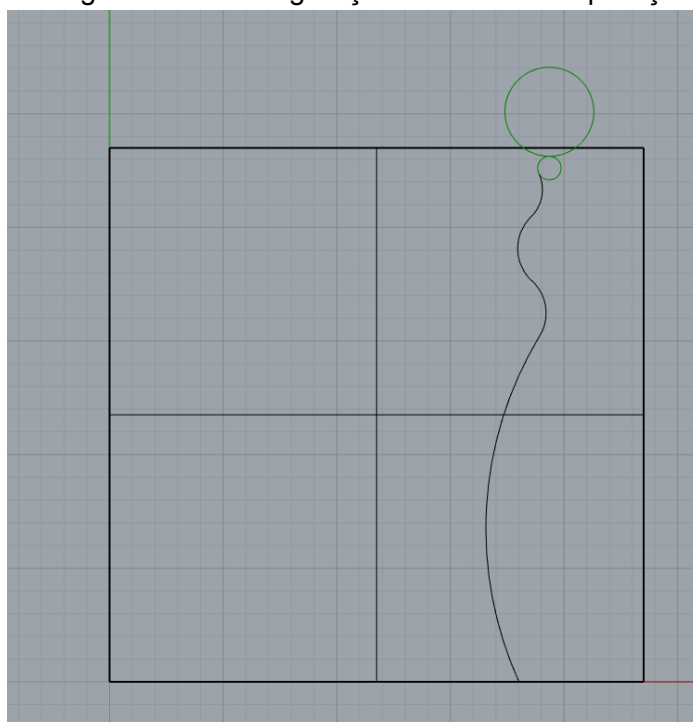
Figura 106: Configuração do Gene5 – Operações



Fonte: Desenvolvido pela Autora

O resultado obtido corresponde ao trecho inicial da geratriz seminal. A Figura 107 apresenta o resultado das operações de translação e escala.

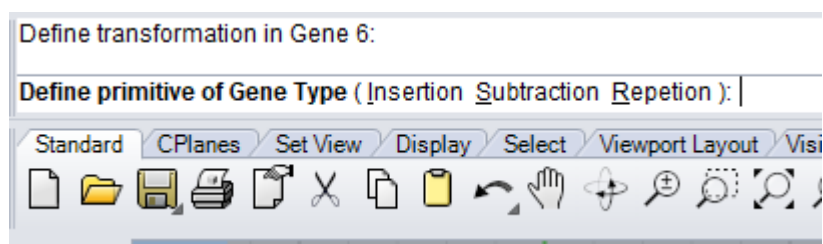
Figura 107: Configuração do Gene5 – Operações



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Em seguida, ocorre a configuração do segundo gene que compõe o cromossomo da geratriz inicial, através das operações de translação e escala (Fig. 108).

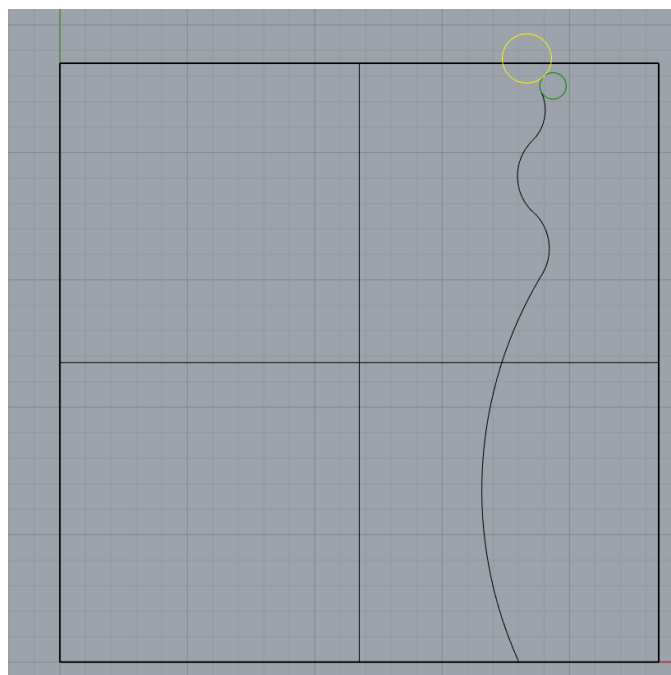
Figura 108: Configuração do Gene6 – Operações



Fonte: Desenvolvido pela Autora

O resultado obtido corresponde ao trecho inicial da geratriz seminal. A Figura 109 apresenta o resultado das operações de translação e escala.

Figura 109: Configuração do Gene6 – Operações

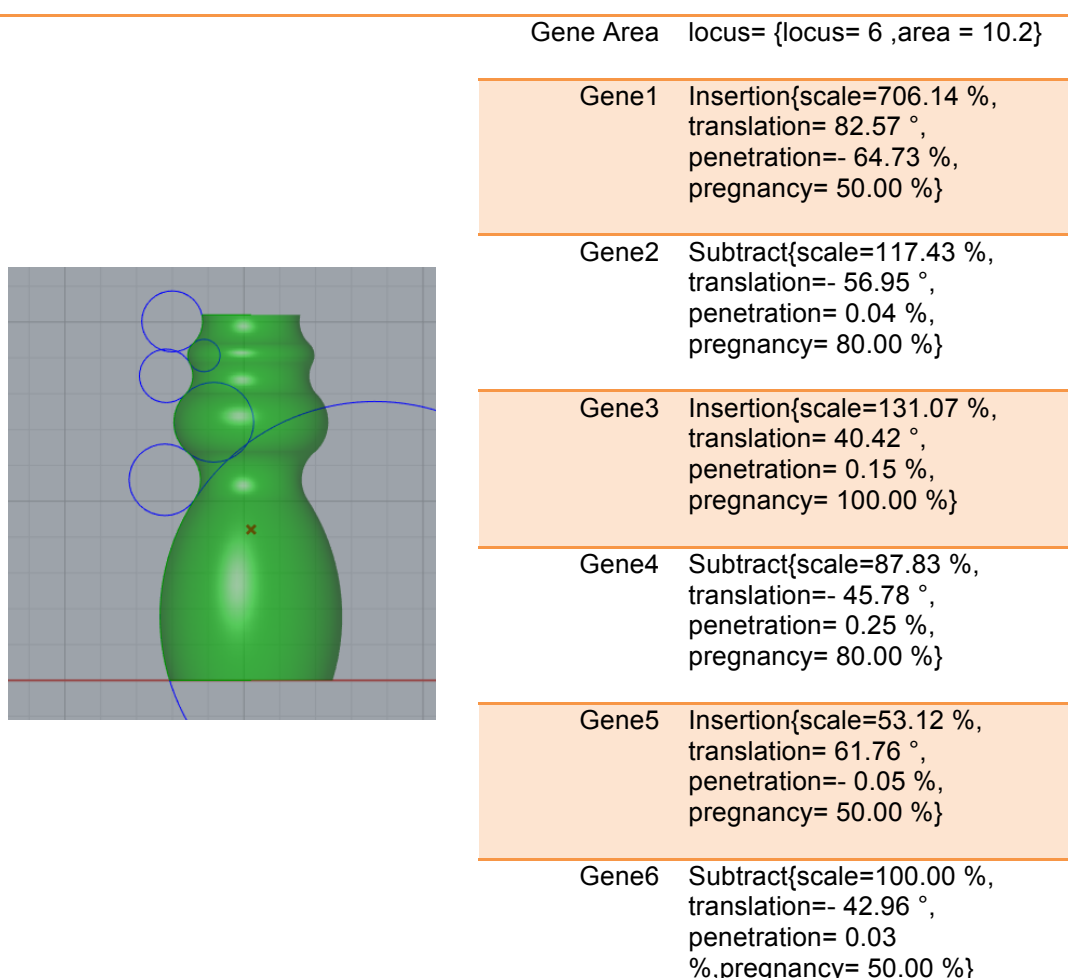


Fonte: Desenvolvido pela Autora

4.2 Geração Inicial

Conforme visto no capítulo dedicado à fundamentação teórica, a geração inicial pode ser composta por um conjunto de indivíduos selecionados a partir de um critério de avaliação. A partir da geração inicial será obtida a geração seguinte (filhos) após ser submetida ao cruzamento genético. Podem participar da população inicial indivíduos com características desejáveis nas gerações seguintes. Para compor a geração inicial neste trabalho, será utilizado a operação de fluxo gênico que irá transferir características da geratriz seminal previamente configurada (Fig.110), para as geratrizes receptoras também previamente configuradas.

Figura 110: Geratriz Seminal



Fonte: Desenvolvido pela Autora

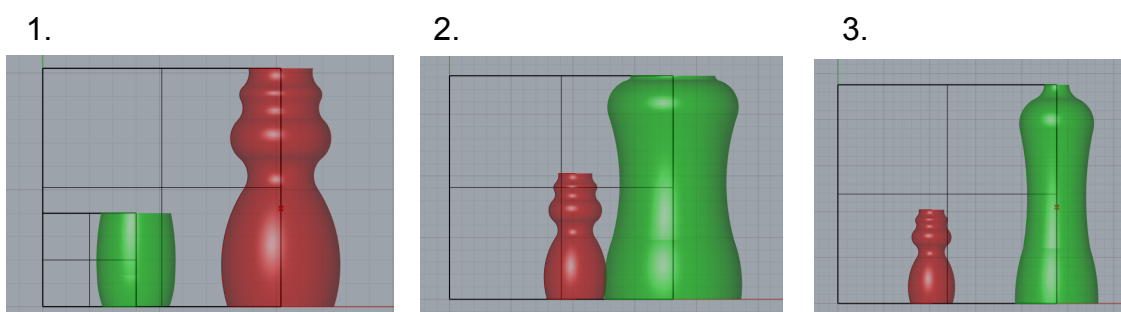
4.3 Geração de Populações

A partir da composição da população inicial é possível realizar as demais operações de cruzamento genético, sempre considerando a geratriz seminal como balizador de ranqueamento do Fitness, que opera com a avaliação de similaridade morfológica, através do cálculo da distância de Levenshtein.

4.3.1 Embalagens para Laticínios

A primeira linha de produtos desenvolvida consiste em embalagens para laticínios, aumentando assim o número de itens do produto DinoDanoninho®. O produto original da marca possui uma quantidade de 180gr e os novos membros da família necessitam de embalagens que possam conter 45gr, 450gr e 900gr. As imagens abaixo (Fig. 111.1), (Fig.111.2), (Fig.111.3), apresentam a forma seminal e a forma inicial da embalagem padrão selecionada (forma receptora). A indústria de embalagens oferece configurações padrão, o que explica a repetição da forma da embalagem utilizadas por diferentes marcas.

Figura 111: Geratriz Inicial



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Embora variem na forma, as dimensões de diferentes fabricantes são próximas pois atendem as questões de logística, como embalagens de transporte, composição de lotes e dimensões de expositores em pontos de venda. Para a composição inicial da forma receptora, este trabalho adotou as dimensões médias para cada volume. Para a embalagem de 45gr, adotou-se o diâmetro de 38,5mm e altura de 51,5mm. Para a embalagem de 450gr, adotou-

se o diâmetro de 68,0mm e altura de 198,5mm. Para a embalagem de 900gr, adotou-se o diâmetro de 84,2mm e altura de 235,5mm.

4.3.2 Matriz de Similaridade – Laticínios

Após a aplicação das operações genéticas durante as sucessivas gerações de população, o fitness, estruturado através do método de Levensthein (Fig.112), determinou os modelos aptos de acordo com os parâmetros definidos.

Figura 112: Exemplo ilustrado da matriz de Levensthein

0	1	2	3	4	5	6
1	0	1	2	3	4	5
2	1	0	1	2	3	4
3	2	1	0	1	2	3
4	3	2	1	0	1	2
5	4	3	2	1	1	2
6	5	4	3	2	2	2

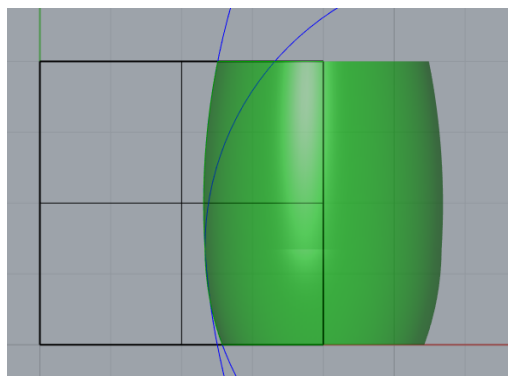
Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Assim, os modelos apresentados a seguir, correspondem ao menor índice da matriz de Levansthein, para cada item da família de produtos, conforme aproximação de morfologia com o objeto seminal.

4.3.2.1 Laticínios – Embalagem de 45gr

A Figura 113 apresenta a composição da geratriz inicial de uma embalagem padrão para laticínio que pode conter 45gr de produto. A fórmula geométrica inicial transcrita para a o modelo genético contém 2 (dois) genes.

Figura 113: Geratriz Inicial Embalagem de 45gr



Gene Area {locus= 2 ,area = 4}

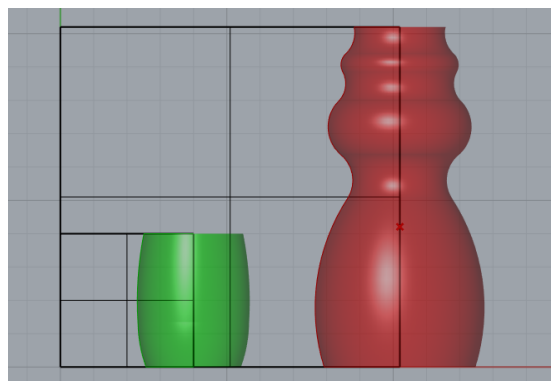
Gene1 Insertion{scale=424.67 %, translation= 79.97 °, penetration=- 29.06 %, pregnancy= 100.00 %}

Gene2 GeneInsertion{scale=873.70 %, translation= 78.06 °, penetration= 48.46 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Inicialmente é efetuada a infecção (fluxo gênico) da geratriz seminal para a forma receptora, formando assim a população inicial (Fig 114).

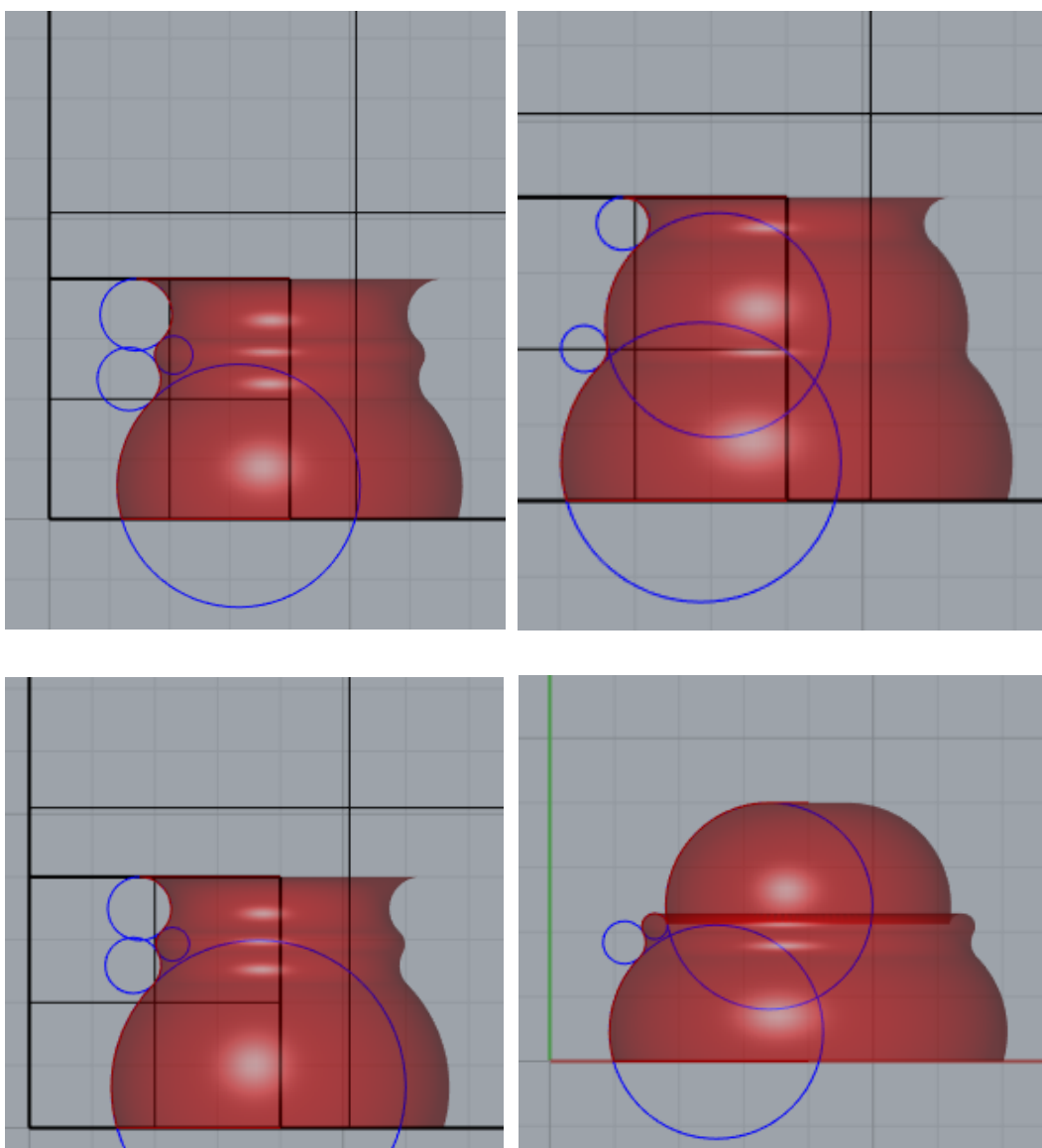
Figura 114: Geratrizes (Fluxo Gênico)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

As imagens a seguir (Fig115), apresentam uma amostra de população gerada através do fluxo gênico entre as duas geratrizes.

Figura 115: Geração de Filhos (45gr)



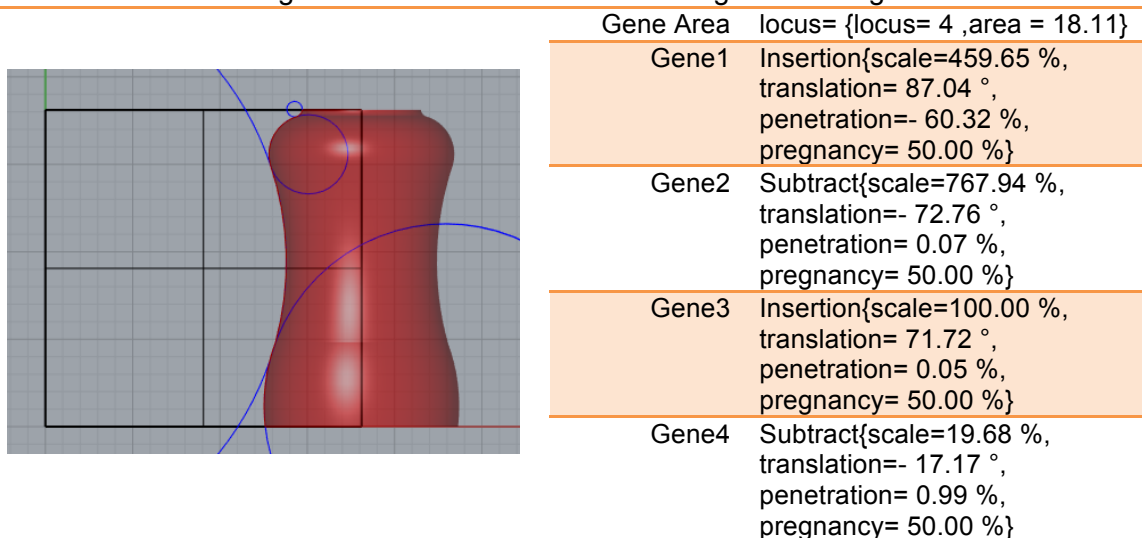
Fonte: Extraído do Modelo Generativo GAIA

A descrição completa da geração de populações para a embalagem de 45 gr, bem como a estruturação genética, a composição dos arcos tangentes e os parâmetros geométricos de cada elemento gerado está descrito no Apêndice 1 deste documento.

4.3.2.2 Laticínios – Embalagem de 450gr

A Figura 116 apresenta a composição da geratriz inicial de uma embalagem padrão para laticínio que pode conter 450gr de produto. A fórmula geométrica inicial transcrita para o modelo genético contém 4 (quatro) genes.

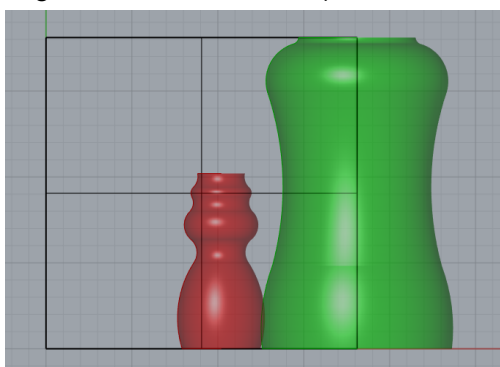
Figura 116: Geratriz Inicial Embalagem de 450gr



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Inicialmente é efetuada a infecção (fluxo gênico) da geratriz seminal para a forma receptora, formando assim a população inicial (Fig 117).

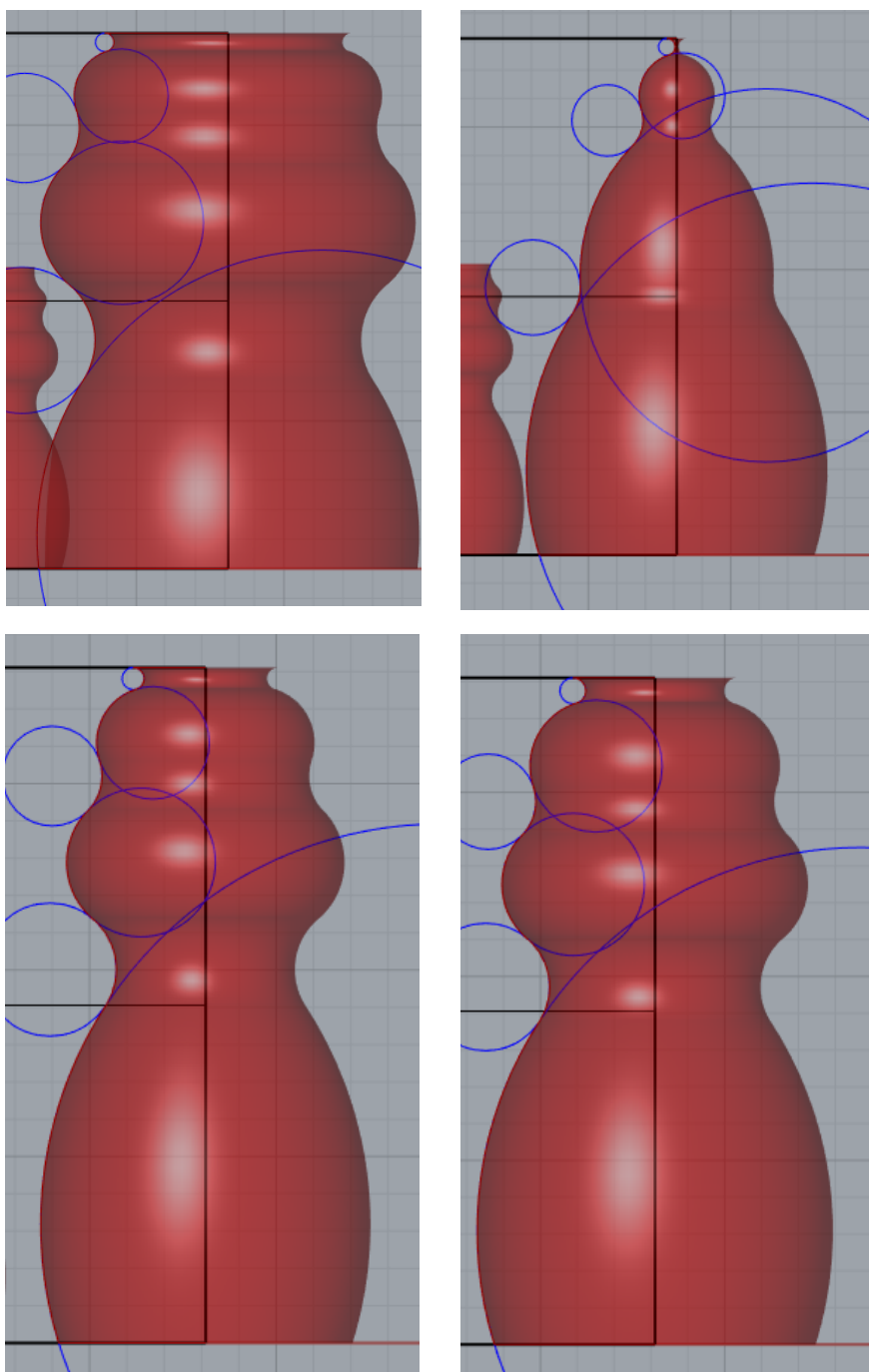
Figura 117: Geratrizes (Fluxo Gênico)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

As imagens a seguir apresentam uma amostra de população gerada através do fluxo gênico entre as duas geratrizes.

Figura 117: Geração de Filhos (450 gr)



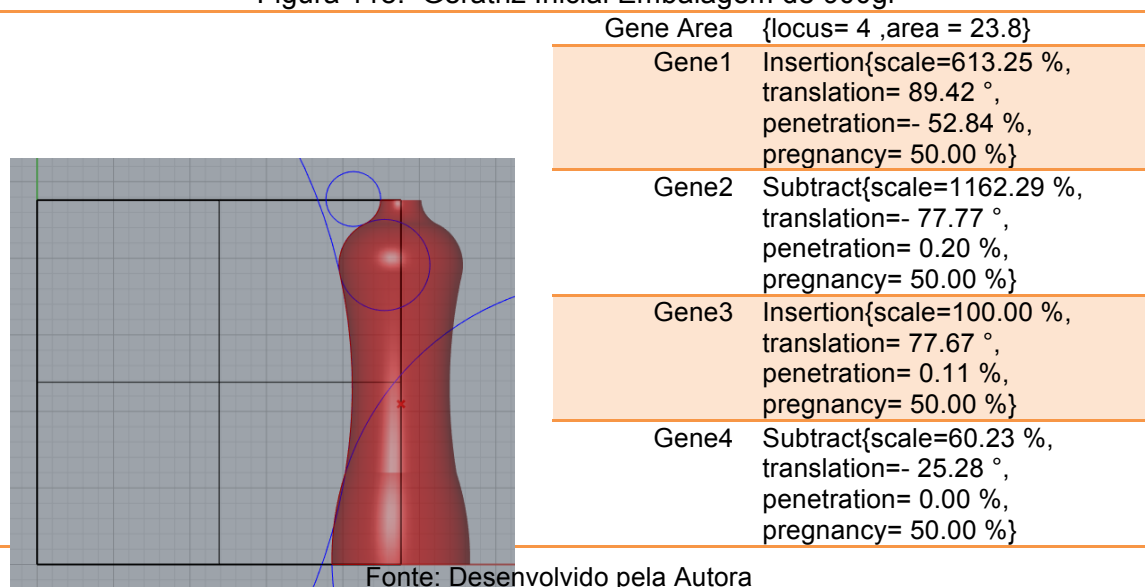
Fonte: Extraído do Modelo Generativo GAIA

A descrição completa da geração de populações para a embalagem de 450 gr, bem como a estruturação genética, a composição dos arcos tangentes e os parâmetros geométricos de cada elemento gerado está descrito no Apêndice 1 deste documento.

4.3.2.3 Laticínios – Embalagem de 900gr

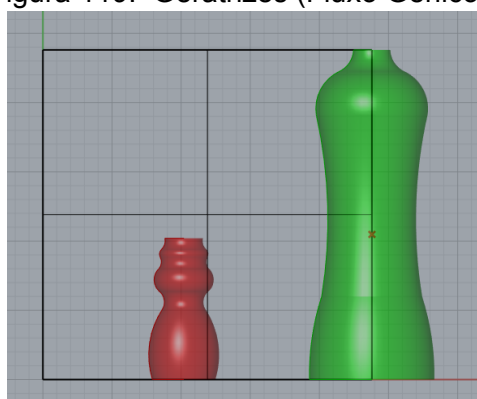
A Figura 118 apresenta a composição da geratriz inicial de uma embalagem padrão para laticínio que pode conter 900gr de produto. A fórmula geométrica inicial transcrita para o modelo genético contém 4 (quatro) genes.

Figura 118: Geratriz Inicial Embalagem de 900gr



Inicialmente é efetuada a infecção (fluxo gênico) da geratriz seminal para a forma receptora, formando assim a população inicial (Fig 119).

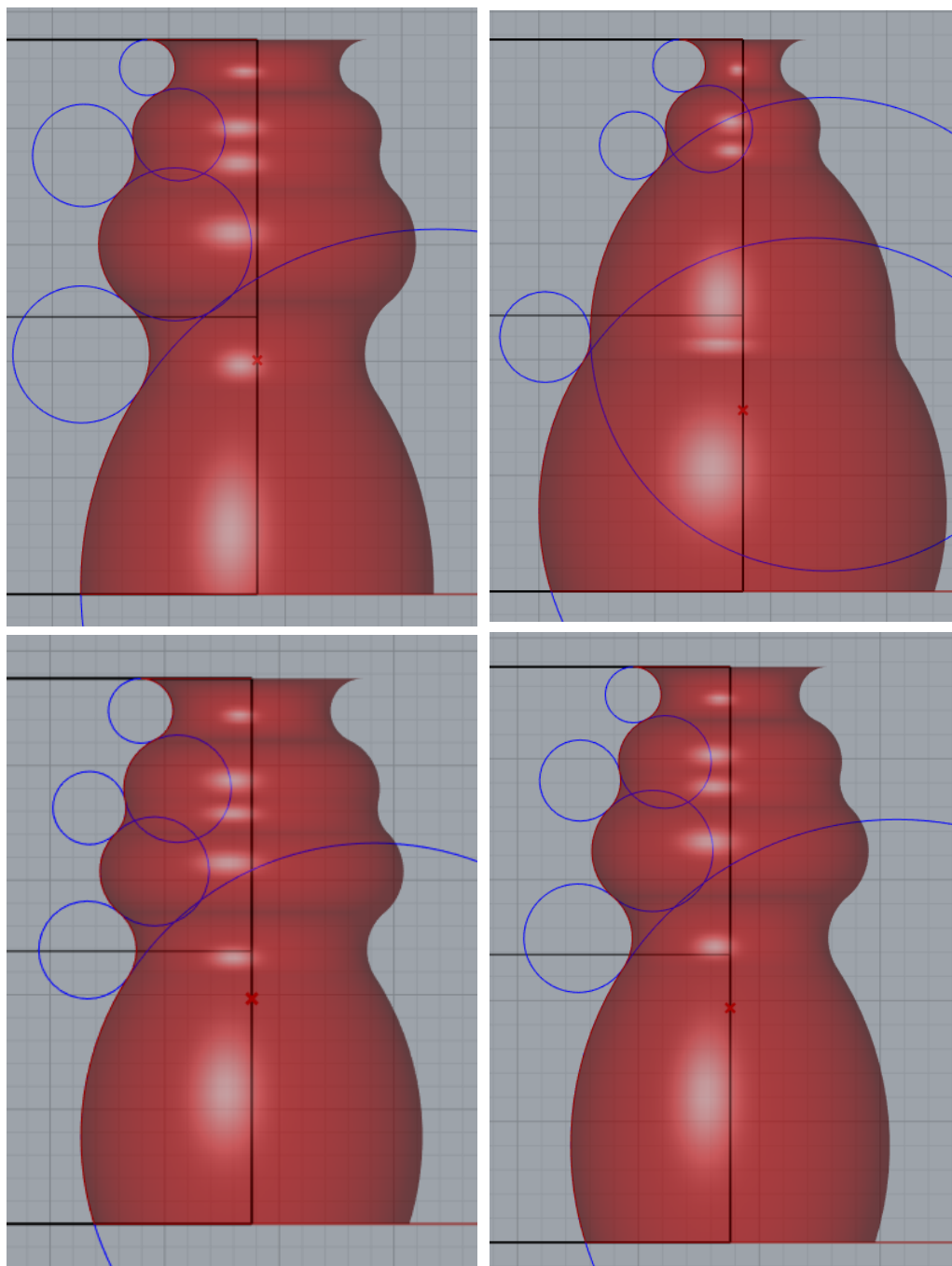
Figura 119: Geratrizes (Fluxo Gênico)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

As imagens a seguir apresentam a amostra de população gerada através do fluxo gênico entre as duas geratrizes.

Figura 120: Geração de Filhos (900gr)



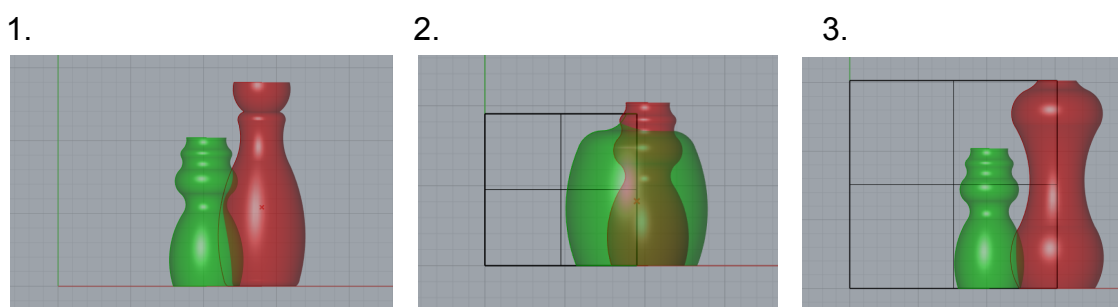
Fonte: Extraído do Modelo Generativo GAIA

A descrição completa da geração de populações para a embalagem de 900 gr, bem como a estruturação genética, a composição dos arcos tangentes e os parâmetros geométricos de cada elemento gerado está descrito no Apêndice 1 deste documento.

4.3.3 Embalagens para Produtos de Higiene

A segunda linha de produtos desenvolvida consiste em embalagens para produtos de higiene pessoal, considerando-se um licenciamento (hipotético) da marca DinoDanoninho® para empresas que, comercialmente, adotam o significado e o público-alvo vinculado ao produto original ao seu produto. Novamente é usado o produto original da marca que possui uma quantidade de 180gr. Os novos membros da família consistem em embalagens que possam conter 100ml, 400ml e 700ml. As imagens abaixo (Fig. 121.1), (Fig.121.2), (Fig.121.3), apresentam a forma seminal e a forma inicial da embalagem padrão selecionada (forma receptora).

Figura 121: Geratriz Inicial



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Assim como as embalagens de laticínios, as dimensões de diferentes fabricantes são próximas pois atendem as questões de logística, como embalagens de transporte, composição de lotes e dimensões de expositores em pontos de venda. Para a composição inicial da forma receptora, este trabalho adotou as dimensões médias para cada volume. Para a embalagem de 100ml, adotou-se o diâmetro de 40,5mm e altura de 140,0mm. Para a embalagem de 400ml, adotou-se o diâmetro de 95,5mm e altura de 90,0mm. Para a embalagem de 700ml, adotou-se o diâmetro de 75,0mm e altura de 250,5mm.

4.3.4 Matriz de Similaridade – Produtos de Higiene

Após a aplicação das operações genéticas durante as sucessivas gerações de população, o fitness, estruturado através do método de Levensthein (Fig.112), determinou os modelos aptos de acordo com os parâmetros definidos.

Figura 122: Exemplo ilustrado da matriz de Levensthein

0	1	2	3	4	5	6
1	0	1	2	3	4	5
2	1	0	1	2	3	4
3	2	1	0	1	2	3
4	3	2	1	0	1	2
5	4	3	2	1	1	2
6	5	4	3	2	2	2

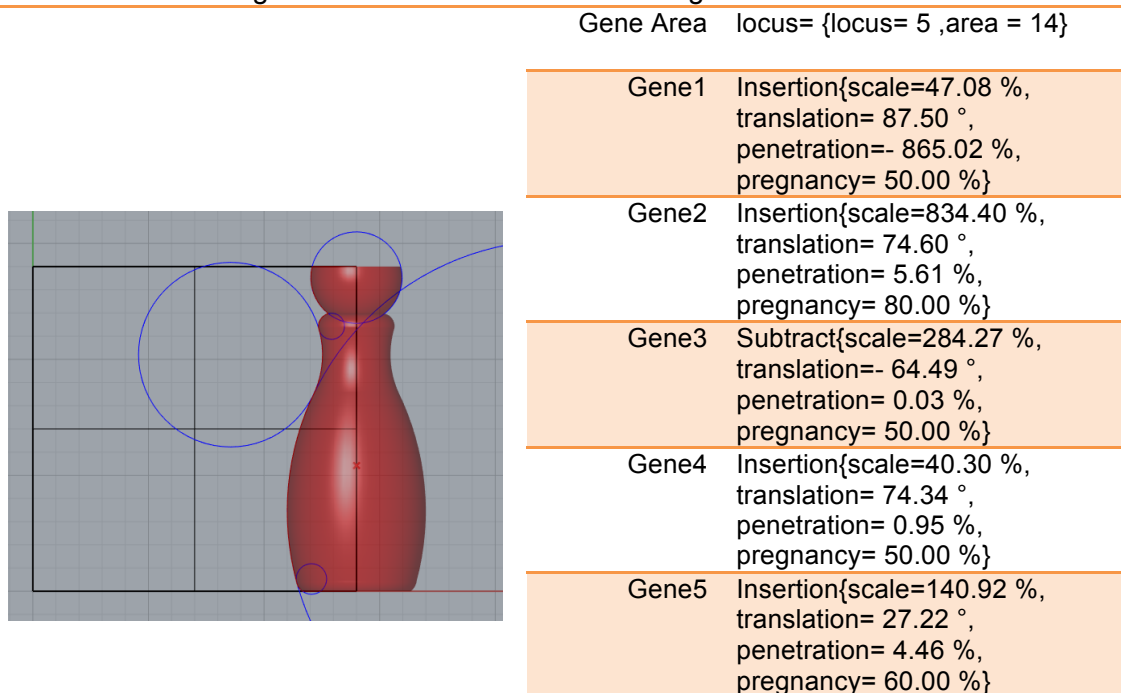
Fonte: Extraído do Modelo Computacional Implementado

Assim, os modelos apresentados a seguir, correspondem ao menor índice da matriz de Levansthein, para cada item da família de produtos, conforme aproximação de morfologia com o objeto seminal.

4.3.4.1 Produtos de Higiene Pessoal – Desodorante (100ml)

A Figura 122 apresenta a composição da geratriz inicial de uma embalagem padrão para laticínio que pode conter 100ml de produto. A fórmula geométrica inicial transcrita para a o modelo genético contém 4 (quatro) genes.

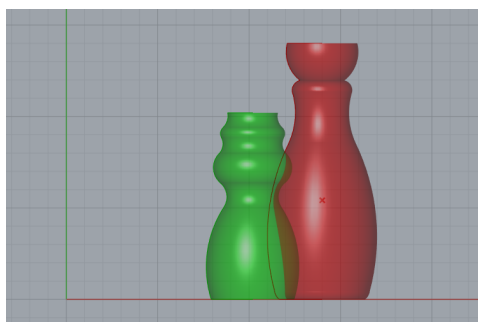
Figura 123: Geratriz Inicial Embalagem de 100ml



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Inicialmente é efetuada a infecção (fluxo gênico) da geratriz seminal para a forma receptora, formando assim a população inicial (Fig 123).

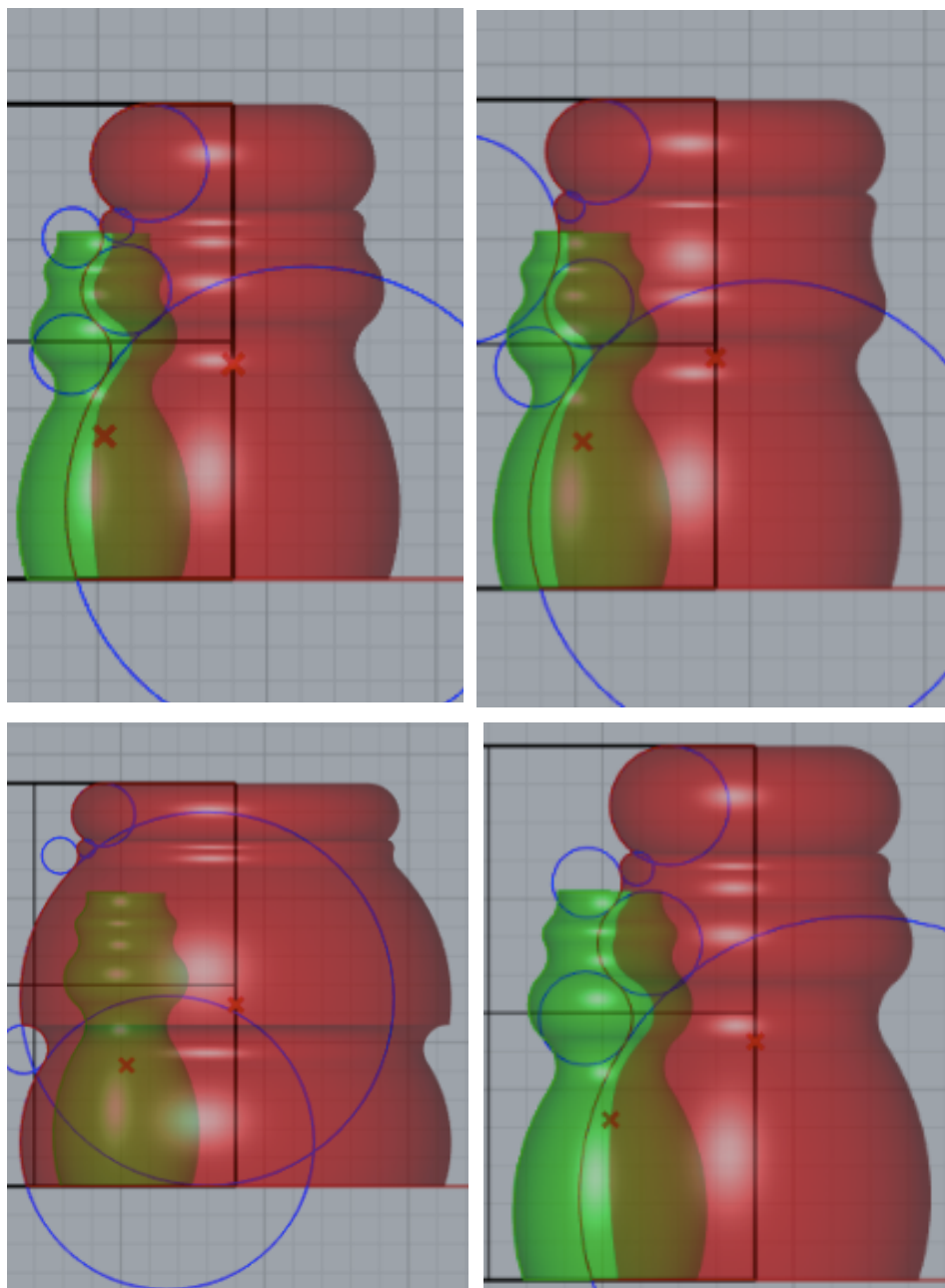
Figura 124: Geratrizes (Fluxo Gênico)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

As imagens a seguir (Fig124), apresentam uma amostra de população gerada através do fluxo gênico entre as duas geratrizes.

Figura 125: Geração de Filhos (100 ml)



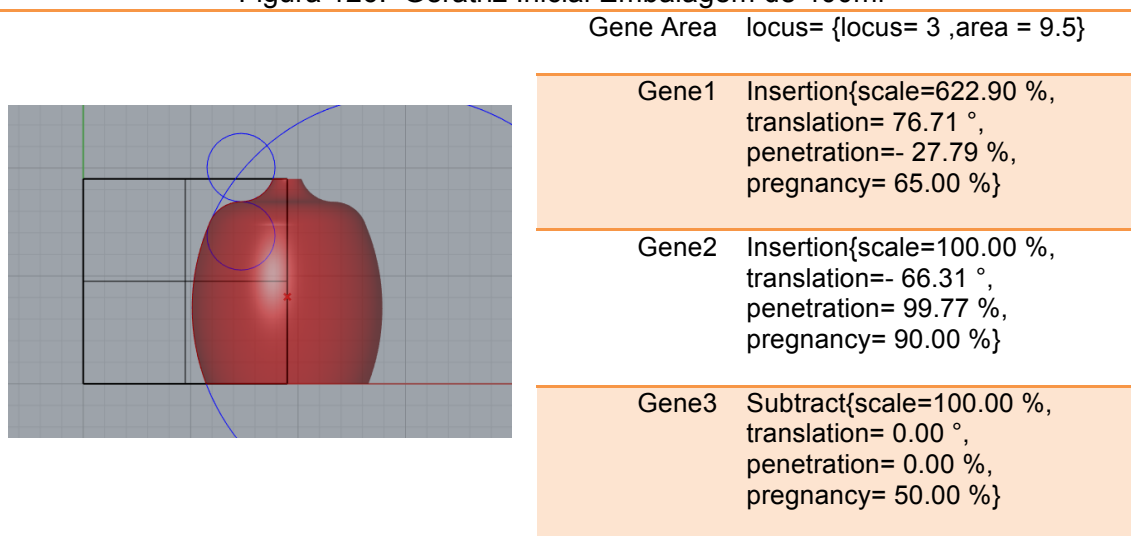
Fonte: Extraído do Modelo Generativo GAIA

A descrição completa da geração de populações para a embalagem de 100 ml, bem como a estruturação genética, a composição dos arcos tangentes e os parâmetros geométricos de cada elemento gerado está descrito no Apêndice 1 deste documento.

4.3.4.2 Produtos de Higiene Pessoal – Sabonete Líquido (400ml)

A Figura 126 apresenta a composição da geratriz inicial de uma embalagem padrão para sabonete líquido que pode conter 400ml de produto. A fórmula geométrica inicial transcrita para a o modelo genético contém 3 (três) genes.

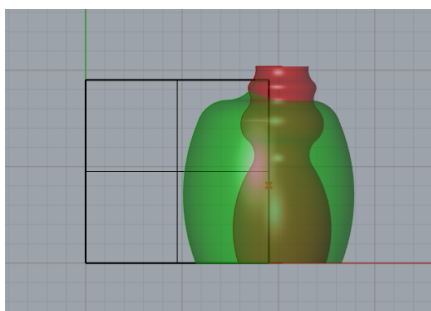
Figura 126: Geratriz Inicial Embalagem de 400ml



Fonte: Desenvolvido pela Autora

Inicialmente é efetuada a infecção (fluxo gênico) da geratriz seminal para a forma receptora, formando assim a população inicial (Fig 116).

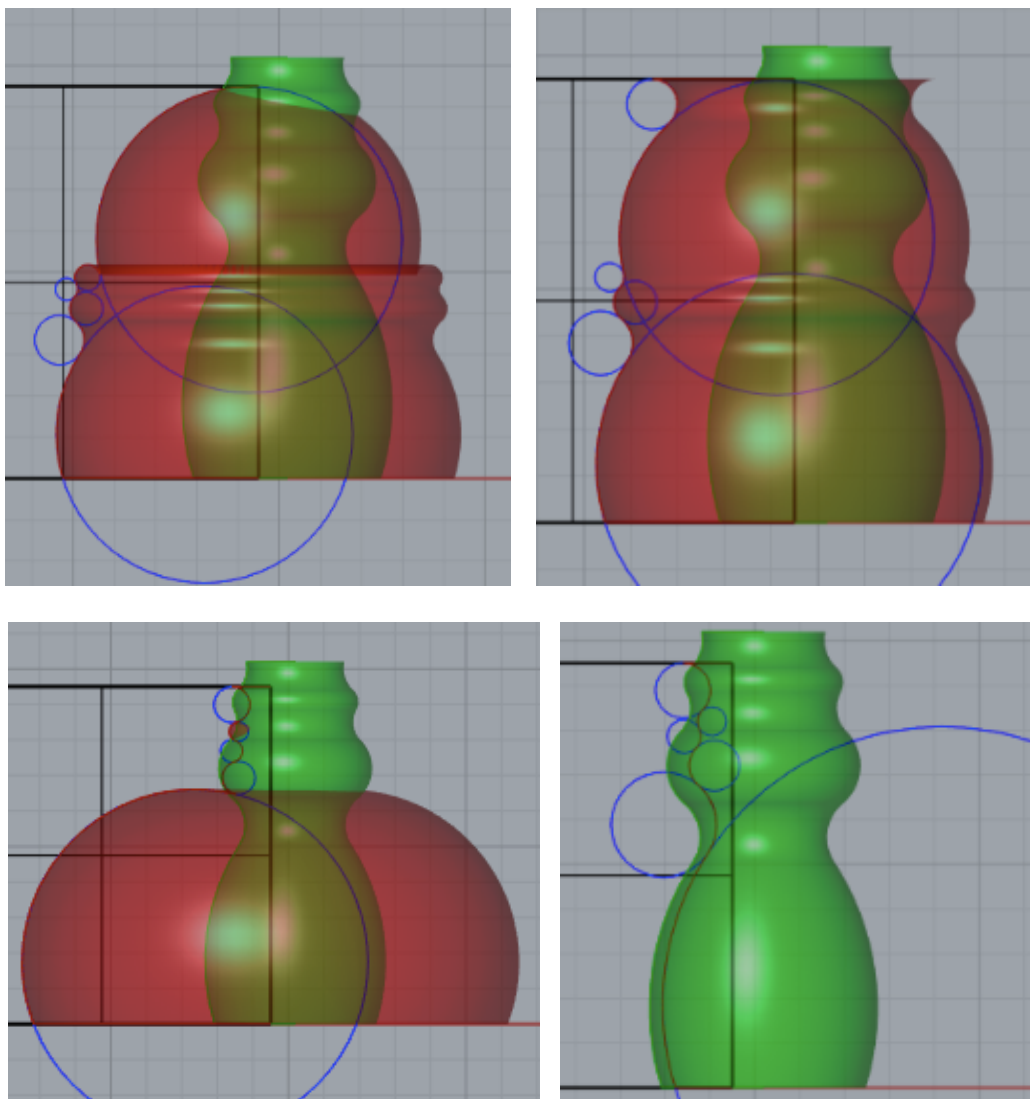
Figura 127: Geratrizes (Fluxo Gênico)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

As imagens a seguir (Fig. 128) apresentam uma amostra de população gerada através do fluxo gênico entre as duas geratrizes.

Figura 128: Geração de Filhos (400 ml)



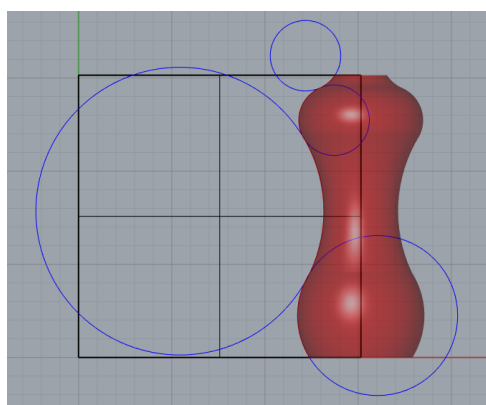
Fonte: Extraído do Modelo Generativo GAIA

A descrição completa da geração de populações para a embalagem de 400 ml, bem como a estruturação genética, a composição dos arcos tangentes e os parâmetros geométricos de cada elemento gerado está descrito no Apêndice 1 deste documento.

4.3.4.3 Produtos de Higiene Pessoal – Shampoo (700ml)

A Figura 129 apresenta a composição da geratriz inicial de uma embalagem padrão para laticínio que pode conter 700ml de produto. A fórmula geométrica inicial transcrita para o modelo genético contém 4 (quatro) genes.

Figura 129: Geratriz Inicial Embalagem de 700ml



Gene Area {locus= 4 ,area = 15.15}

Gene1 Insertion{scale=243.49 %, translation= 82.45 °, penetration=- 129.25 %, pregnancy= 80.00 %}

Gene2 Subtract{scale=413.94 %, translation=- 63.01 °, penetration= 0.10 %, pregnancy= 30.00 %}

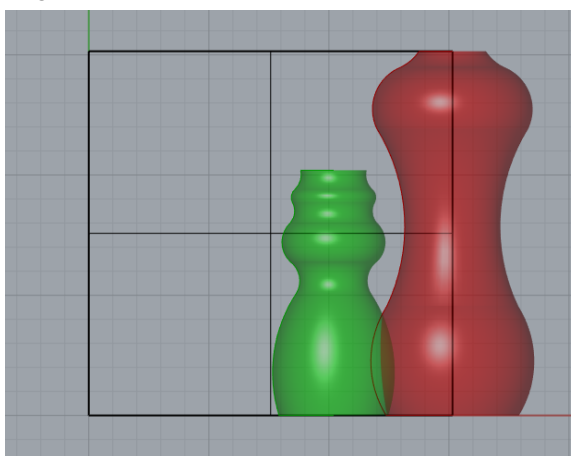
Gene3 Insertion{scale=100.00 %, translation= 59.34 °, penetration= 0.37 %, pregnancy= 30.00 %}

Gene4 Subtract{scale=59.49 %, translation=- 19.28 °, penetration= 0.10 %, pregnancy= 30.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Inicialmente é efetuada a infecção (fluxo gênico) da geratriz seminal para a forma receptora, formando assim a população inicial (Fig 130).

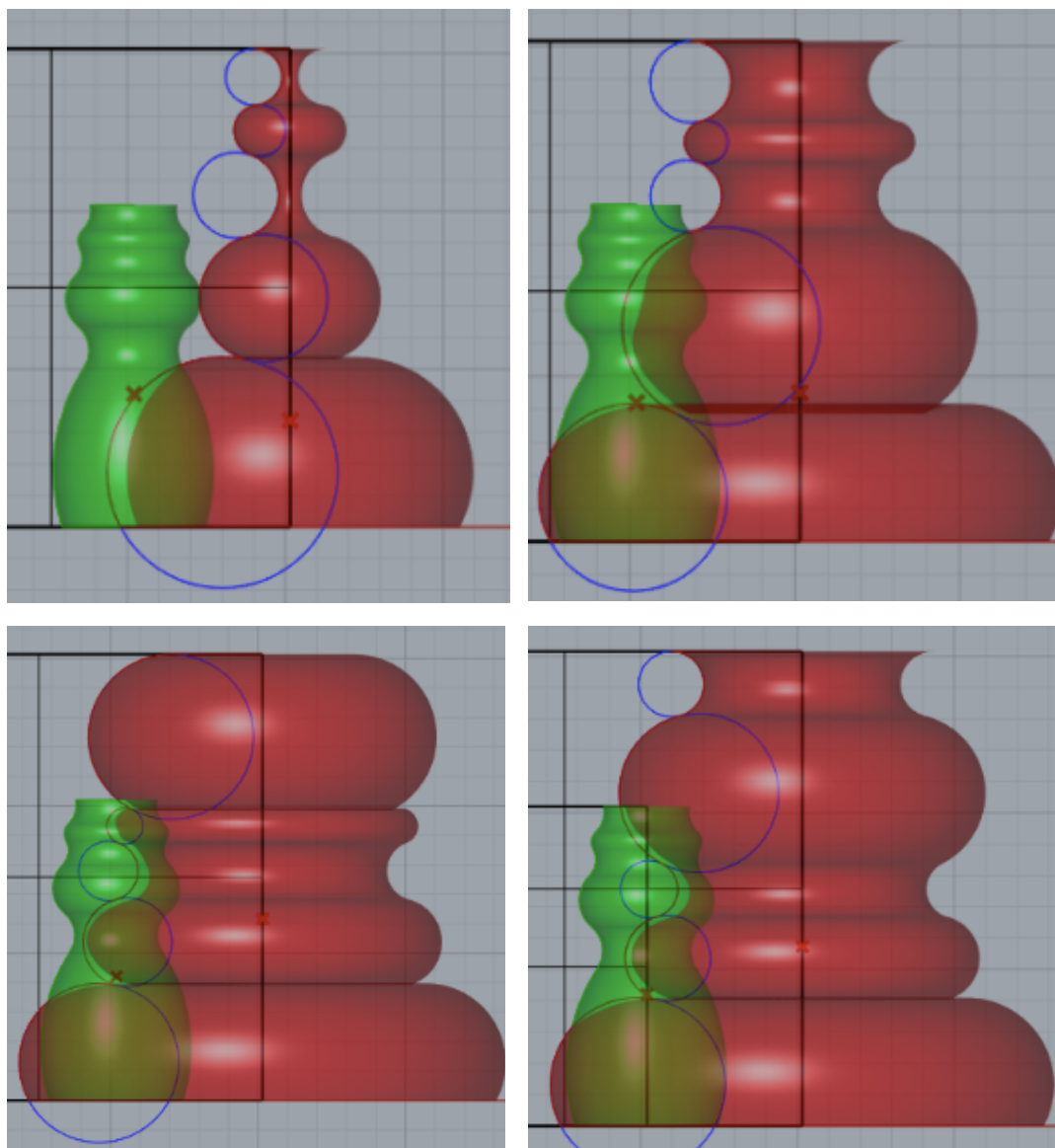
Figura 130: Geratrizes (Fluxo Gênico)



Fonte: Desenvolvido pela Autora

As imagens a seguir (Fig. 131) apresentam uma amostra de população gerada através do fluxo gênico entre as duas geratrizes.

Figura 131: Geratrizes (Fluxo Gênico)



Fonte: Extraído do Modelo Generativo GAIA

A descrição completa da geração de populações para a embalagem de 700 ml, bem como a estruturação genética, a composição dos arcos tangentes e os parâmetros geométricos de cada elemento gerado está descrito no Apêndice A deste documento.

5 Resultados e Discussão dos Dados

Neste item, estão descritos e discutidos os resultados desta pesquisa conduzida através das etapas de investigação, abstração, verificação e análise dos dados. Na etapa de investigação, foi tratado o tema de processo de desenvolvimento de família de produtos cuja característica unificadora constitui-se pela variação formal de atendimento aos requisitos funcionais, porém as preservando características estético-formais que a façam ser reconhecida como um elemento do conjunto por parte do usuário. Na indústria, este processo é chamado de gestão da coerência estilística e é compreendido como essencial para manter o vínculo do significado da marca com o consumidor (BAXTER, 1998). Foram efetuadas as análises no modelo generativo paramétrico (*plug-in* GAIA) desenvolvido na presente pesquisa observando-se os princípios de similaridade (WONG, 2010), (BONSIEPE, 1975), (CHA e GERO, 2006).

Para que um determinado objeto possua similaridade morfológica em relação a outro, este deve observar as regras de transformação isométricas e paramétricas além das relações topológicas (CHA e Gero, 2006); e inter-relações (WONG, 2010), que assim compreenderão relação inter-figural com seus pares (BONSIEPE, 1975); e serão passíveis de serem reconhecidos pelo princípio da unidade e da continuidade (GOMES FILHO, 2003). Em processo de desenvolvimento de produtos, uma família é compreendida como a gama de produtos que as empresas que operam com ofertas destinadas a diferentes segmentos de mercado e diferentes tipos de aplicações, desenvolvem e produzem; e para tanto utilizam recursos e métodos capazes de auxiliar na composição de famílias que são denominados como princípios de projeto. (BART e BOYNTON, 1998).

Um destes princípios, denominado de plataforma de produto, definida como um conjunto de elementos comuns (peças, componentes, processos, etc.) que compartilham a tecnologia de núcleo subjacente como base na qual uma série de produtos derivados podem ser eficientemente desenvolvidos, se apresenta como uma alternativa amplamente utilizada para atender a

variedade de maneira lateral (membros de uma mesma geração/família de produtos) e também a variedade evolutiva (gerações subsequentes/evolução da família) (AI GEDDAWY e EI MARAGHY, 2011). Para implementar o conceito de plataformas de produto nos sistemas de fabricação no modelo de desenvolvimento de variantes formais, é **o método da modularização**, usado como uma ferramenta para dividir a estrutura do produto em unidades controláveis. A modularidade é compreendida de duas maneiras: a **modularidade física**, gerada pela segregação de componentes que possuem características dimensionais, geométricas e topológicas (SIMPSON, et al, 2006); e **modularidade lógica**, compreendida de maneira abstrata sem constituição física e que pode organizar e armazenar informações e conceitos virtualmente (ELGARD e MILLER, 1998). Ambas podem ser compartilhadas e reorganizadas, gerando vantagens como a redução de custos, a terceirização da produção e a manutenção da unidade semântica. Isto pode ser demonstrado através dos resultados obtidos na presente pesquisa durante a etapa de verificação e análise dos dados produzidos a partir do modelo generativo paramétrico implementado em que houve o compartilhamento de unidades lógicas, produzindo unidades físicas e atendendo aos três pilares básicos por trás da adoção da modularidade: **a criação da variedade, a utilização de semelhanças e a redução das complexidades** (PAHL e BEITZ, 1996), (ULRICH e TUNG, 1991), (JESPERSEN e MILLER, 1995) e (ERIXON, 1998).

Para que as famílias de produtos atendam aos requisitos de coerência formal, o designer deve observar os elementos de composição formal do objeto seminal, suas proporções, estratégia geométrica aplicada e quais os elementos da forma que representam maior vínculo com a identificação do produto por parte do usuário. Portanto, o plug-in GAIA foi desenvolvido de maneira que atendesse a tais requisitos, permitindo a configuração de cada etapa da geometria, tratando das suas características formais-dimensionais e de significado.

Na etapa de verificação, as similaridades formais foram analisadas de acordo com a medida de similaridade de sequência usando a distância de Levenshtein. Tais sequências permitem definir medidas

quantitativas de similaridade e de diferença (LESK, 2010). Ao se obter a notação computacional que corresponde a fórmula geométrica de composição de uma geratriz, e considera-la uma sequência, foi possível atribuir sequências às formas seminais e formas receptoras e assim calcular as suas distâncias, lembrando que as menores distâncias conferem maior grau de similaridade (LESK, 2010). As formas geradas através do plug-in GAIA, e pré-selecionadas de acordo com os parâmetros configurados pelo designer como limiares do número de elementos da geração inicial, do número de ciclos de evolução (gerações intermediárias) e da quantidade de elementos finais, oferecem soluções como candidatas à solução final. Cabe ao designer dar continuidade ao processo de seleção baseado nos demais requisitos do projeto, elencando-se os que não estão contemplados nas configurações do plug-in GAIA.

A geração e pré-seleção virtual de possibilidades formais traz, além da otimização e ganho significativo de tempo, a economia no que tange aos custos relacionados à confecção de modelos e protótipos de testes, pois elimina soluções candidatas não aptas na origem, garantindo os esforços e eventuais investimentos e um conjunto válido de solução viáveis.

As soluções geradas pelo plug-in Gaia, se adequam ao modelo de manufatura e produção seriada que se organiza através do modelo que combina uma plataforma de produto com seus componentes, pois preserva as interfaces das variantes. Esta arquitetura, definida como o resultado de um processo de design deliberado destinado a utilizar semelhanças entre uma gama de produtos (ULRICH e EPPINGER, 1995) se pratica através da modularidade com suas diferentes categorias de interação: compartilhamento, permuta, adaptação, barramento, seccionalidade (PINE, 1993).

A geração de alternativas pré-selecionadas pelo plug-in, não se limitam ao uso da forma (superfícies de revolução), pois a manipulação formal é realizada pela geratriz. Sendo assim, as variações formais podem ser aplicadas de duas maneiras: pela forma (volume) e pelo formato (área definida por um contorno) (WONG, 2010).

O Quadro 74 apresenta as contribuições desse trabalho, organizadas de maneira a atender as relações de equivalência entre o contexto da hereditariedade da biologia e os princípios de similaridade entre composições formais investigadas pela presente pesquisa.

Quadro 26: Relações Teóricas e Contribuição

<p>Teoria da Evolução (DARWIN, 1858) - Seleção Natural -</p>	<p>Teoria da Simetria (BONSIEPE, 1975) - Fenômenos Morfológicos -</p>	<p>Modelo Generativo - Plug-in GAIA -</p>
<p>Princípio da Variação: morfologia, fisiologia e comportamento.</p>	<p>Deve existir a repetição de elementos capazes de constituir uma configuração;</p>	<p>Permite gerar variações formais entre indivíduos distintos (categorias conceituais) que atendem diferentes funções práticas, representados aqui por: embalagens para laticínios, brindes promocionais e elementos para o ponto de venda.</p>
<p>Princípio da hereditariedade: a prole se assemelha a seus genitores</p>	<p>Deve existir entre os elementos uma relação de igualdade e semelhança;</p>	<p>Permite transferir movimentos geométricos que configuram a identidade da família para as variantes geradas, através da gramática da forma e operações de transformação paramétrica e isométrica.</p>
<p>Algumas formas são melhor sucedidas em sobrevivência</p>	<p>Princípio generativo que determina a posição preferencial dos elementos que constituem um todo.</p>	<p>Permite a gestão da coerência estilística na geração e na seleção de alternativas, preservando os movimentos geométricos que configuram a identidade da família, oriundos das operações que implementam os mecanismos da genética natural, permitindo a parametrização do grau de pertinência de cada movimento e sua consequente preservação.</p>

Fonte: Desenvolvido pela Autora

A linha de produtos de laticínios e o conjunto de produtos destinado a higiene pessoal foram utilizados como exemplos de aplicações do modelo generativo paramétrico (plug-in GAIA) para composição de variantes formais em ambiente virtual. Entretanto, o modelo generativo pode ser utilizado para o desenvolvimento e análise de qualquer outra linha ou família de produtos, uma vez que se aplicam ao universo das superfícies de revolução independente de categorias conceituais atribuídas às suas características funcionais. Da mesma maneira, é possível afirmar que a analogia biológica promovida na aplicação dos princípios da genética à composição de geometrias similares para o desenvolvimento de família de produtos, pode ser aplicada para outros tipos de superfícies.

6 Considerações Finais

A temática desenvolvida nesta pesquisa possui relevância e aderência à área do Design e das Engenharias por tratar de um tema contemporâneo como a automação e sistematização de processos de desenvolvimento de produtos. Ao focar nas características estético-formais das famílias de produtos, ainda com inexpressivos métodos de automação, contribui de maneira significativa nas etapas de geração e seleção de alternativas, oferecendo ao designer um conjunto pré-avaliado de soluções candidatas, impactando positivamente na otimização de recursos relativos a prazos e custos.

Porém, conforme verificado durante a etapa de identificação, através de pesquisa exploratória por meio de revisão de bibliografia, ainda se mostram incipientes quanto os métodos de gestão e manutenção da coerência formal estilística em famílias de produtos onde se busca uma morfologia similar que oriente a identificação de sua unidade, especificamente quando não estão vinculados apenas ao intercâmbio de módulos componentes por meio do processo de plataforma. Dessa maneira, a delimitação da pesquisa assumiu esta lacuna oferecendo uma hipótese de solução.

Neste trabalho, foi apresentado um modelo generativo baseado em analogia biológica capaz de manter a coerência formal entre os membros de uma família de produtos, através da elaboração de um mecanismo baseado no princípio natural da hereditariedade que permite a derivação da morfologia de uma forma seminal para os demais membros do conjunto e do uso do gráfico de pontos para observar o grau de similaridade das suas variantes com o objetivo de manter-se assim a coerência estilística da família. Tal coerência, diz respeito ao reconhecimento da identidade visual relacionado a uma determinada marca ou produto antecessor, mantendo-se assim o vínculo de significado para o consumidor;

O modelo generativo utilizou a gramática da forma como estratégia de composição e decomposição das geratrizes que descrevem a morfologia das superfícies de revolução, criando condições de manipular os seus elementos e seus operadores de maneira isolada, além de permitir a relação das equivalências entre os padrões geométricos, genéticos e computacionais. Em consequência, torna-se possível a troca de material genético entre duas distintas composições formais, ou seja, é possível derivar a geometria de um elemento A para um elemento B de maneira integral ou parcial, simulando as operações da genética como combinação e mutação através de algoritmos genéticos (AG's).

A etapa de verificação e da análise de dados ofereceu a validação do modelo generativo proposto pela pesquisa, da averiguação de suas funcionalidades e do processo de composição de variantes formais com características morfológicas similares, baseado nos conceitos da hereditariedade da genética natural. Assim, o modelo generativo está apto a ser utilizado na composição estético-formal de famílias de produtos.

Além da contribuição do modelo generativo, evidenciado nas transcrições propostas: genética e computacional, esta pesquisa estabelece uma base de conhecimento para o uso dos algoritmos genéticos (AG's) no processo de design apresentado um método sistemático para a sua implementação, o que pode significar uma aumento expressivo de soluções projetuais uma vez que permite a geração e verificação de um maior número de combinações.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho possui uma abordagem inovadora no que tange ao desenvolvimento de família de produtos, pois associa os conceitos de hereditariedade da genética natural ao caráter estético-formal dos produtos de consumo. Aqui são apresentadas algumas sugestões para os trabalhos futuros de pesquisa no contexto de desenvolvimento de família de produtos que

possuam similaridade morfológica congruente; valendo-se inclusive da ferramenta (GAIA) desenvolvida uma vez que estará disponível em comunidade de software livre (*open source*), vinculando-se e ampliando suas funcionalidades para as seguintes tarefas:

- Leitura da forma seminal automatizada: desta maneira seria possível agilizar o processo de decomposição da forma e incremento da base de dados de conhecimento;
- Geração de outros tipos de composição tridimensional: assim possibilitando a composição estético-formal de famílias que não usam a estratégia geométrica de superfícies por revolução;
- Implementação mais apurada da identificação formal de plágio: que assim permitirá identificar de maneira automatizada se há congruência na composição formal do objeto de acordo com a família original;

Referências Bibliográficas

AISH, R. First Build Your Tools. In: PETERS, B.; TERRI, P. **Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design**. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2014. Cap. 2, p. 36-49.

ALEXANDER, C. et al, **A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction**, Oxford University Press, ISBN: 0195019199, 1977.

AGARWAL, M; CAGAN, J. A **Blend of Different Tastes: The Language of Coffe Makers**. Environment and Planning B: Planning and Design 25:2, p. 205-226, 1998.

ALEXANDER, C., **Notes on the Synthesis of Form**, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, ISBN: 674-62750-4, 1964.

ALGEDDAWY, T., ELMARAGHY, H., **Assembly Systems Layout Design Model for Delayed Products Differentiation**, International Journal of Production Research, 48/ 18: 5281–5305, 2009.

ALGEDDAWY, T., ELMARAGHY, H., **Realizing Associated Evolution Courses: The Co-evolution in the Artificial World of Manufacturing**, International Conference on Evolutionary Computation – ICEC 2010 (Valencia, Spain),2010.

ALGEDDAWY, T., ELMARAGHY, **Design of Single Assembly Line for the Delayed Differentiation of Product Variants**, Flexible Services and Manufacturing Journal, 22/3: 163–182, 2011.

ANDERSON, D. & PINE, J. **Agile Product Development for Mass Customization**, McGraw Hill, ISBN: 0786311754, 1997.

ARNHEIM, R. **Arte e Percepção Visual: uma psicologia da visão criadora**. São Paulo: Thompson Pioneira, 1998.

ARNHEIM, R. **Art and Visual Perception, University of California**, Los Angeles: Editora Berkeley, 1954;

BACK, N. ; OGLIARI, A.; DIAS, A. E SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos**. Manole, Barueri, SP, 2008;

BART, V. & BOYNTON, A. **Invented Here: Maximizing Your Organization's Internal Growth and Profitability**, Harvard Business School Press, ISBN: 0875847986, 1998.

BASSALA, G.A Evolução da Tecnologia. Porto: Porto Editora, 2001;

BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de novos Produtos**. Edgar Blucher:São Paulo, 1998;

BOROWSKI, Karl-Heinz **Das Baukastensystem in der Technik**, Springer-Verlag, Berlim, 1961.

BONSIEPE, Gui. **Teoria e practica del disegno industriale: Elementi per una manualistica critica**. Milão: Giangiacomo Feltrinelle, 1975

BÜRDECK, B. **História, Teoria e Prática do Design de Produtos**. São Paulo: Edgar Blucher, 2006;

BURNS, George W. **Genética: uma introdução à hereditariedade**. Guanabarra: Rio de Janeiro, 1986;

CAGAN, J and MITCHELL, W. **Optimally directed shape generation by simulated annealing**, Environment and Planning B: Planning and Design 20: 5-12. 1993;

CELANI, C.; CYPRIANO, D; GODOI, G; VAZ, C. E. **A Gramática da Forma como Metodologia de Análise e Síntese em Arquitetura**. Revista Conexão: Comunicação e Cultura, ISSN Online: 2178-2687, vol 5, num. 10, 2006;

CELANI, G.; CYPRIANO, D; GODOI, G; VAZ, C. E. **A Gramática da Forma como Metodologia de Análise e Síntese em Arquitetura**. Revista Conexão: Comunicação e Cultura, ISSN Online: 2178-2687, vol 5, num. 10, 2006;

CELANI, G.; MARTINO, J. A de. Andamp (2012). **O Algoritmo Evolutivo como método projetual**. In: XVI Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital: Forma (in) Formação, pp. 570-57 Fortaleza: Sigradi;

CHA, Myung Yeol; GERO, John S. **Shape pattern representation for design computation**. Working Paper, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Sydney, 2006;

CHAU, HH., CHEN, X, McKay, A, de Pennington, A. **Package shape design principles to support brand identity**, 14th IAPRI World Conference on Packaging, Stockholm, Sweden, 2004.

CHAU, HH. **Preserving Brand Identity in Engineering Design Using a Grammatical Approach**, Leeds University, 2002;

COYNE, R. D., ROSENMAN, M., RADFORD, A. e GERO, J. S. **Knowledge-Based Design Systems**, Addison-Wesley, Massachusetts, 1990;

DESIGN DICTIONARY: Perspectives on Design Terminology. Michael Erlhoff, Timothy Marshall, Board of International Research in Design/Birkhauser Architecture, 2008;

DARWIN, C. e WALLACE, A. R. **On The Tendency of Species to Form Varieties; and on The Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection**. London: Journal of the Proceedings of Linnean Society of London, 1858.

DAVIS, L., **Handbook of Genetic Algorithms**, VNR Company Library, 1990.

DOCZI, G. **O Poder dos Limites: Harmonias e Proporções na Natureza, Arte e Arquitetura**. São Paulo: Mercuryo, 1990.

DROSTE, M. **Bauhaus 1919-1933**, Benedict Taschen Series, Bauhaus-Archiv Museum für Gestaltung, Berlin. Dansk produktion: Book Service I/S, Copenhagen, 1990.

ECHEVESTE, M. S. & FETTERMANN D.C., **Desenvolvimento de produto para customização em massa: alternativas para o setor de móveis modulados** Espacios. Vol. 32 (4) 2011.

ELGARD, P. & MILLER, T.D. **Designing Product Families**, Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fuglsoe 1998. ISBN 87-89867-60-2. Aalborg University 1998.

ERCAN, B. e ELIAS-OZKAN, S.T. **Performance-based parametric design explorations: A method for generating appropriate building components.** Elsevier: Design Studies 38, p.33 – 53, 2015;

ERICSSON, A. ERIXON, G **Controlling Design Variants: Modular Products Society of Manufacturing Engineers.** Estocolmo, 1999.

ERIXSON, G. **Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation,** KTH, Estocolmo, tese de doutorado, 1998.

FALKENHAINERF, B., FORBUS, K. D. e GENTER, D. **The structure-mapping engine.** 1990;

FISCHER, T.; HEER, C. M. **Teaching Generative Design.** The Proceedings of the Fourth International Conference on Generative Art 2001. Milan, Italy: Politecnico di Milano University. 2001.

FIORINI, S. R.; GÄRDENFORS, P.; ABEL, M. **Representing part-whole relations inconceptual spaces.** *Cognitive Processing*, Springer Berlin Heidelberg, p. 1–16, 2013.

FLICK, U. **Introdução à Pesquisa Qualitativa.** Porto Alegre: ArtMed, 2009;

GAMMA, E. et al, **Design Patterns: Elements of Reusable Object Oriented Software,** Addison-Wesley, ISBN: 0201633612, 1995.

GENTNER, D. **Similarity and Analogical Reasoning,** Cambridge University Press, Cambridge, 1989;

GERO, J. S and Jun, H. J. **Getting computer to read the architectural semantics of drawings,** ACADIA '95, pp 97-112, 1995;

GOMES FILHO, J. **Gestalt do Objeto: Sistema de Leitura Visual da Forma.** São Paulo: Escrituras, 2008.

GONÇALVES, R. T. **Chomsky e o aspecto criativo da linguagem.** Revista Virtual de Estudos da Linguagem – ReVEL. V. 5, n. 8, março de 2007. ISSN 1678-8931;

GRIFFITHS, A.; WESSLER, S.; CARROLL, S.; DOEBLEY, J. **Introdução à Genética**. Guanabarra: Rio de Janeiro, 2001;

GRUBER, P. **Biomimetics in Architecture**. London: Springer, 2011;

GABRIEL, P. H; DELBEN, C. B. **Fundamentos de Algoritmos Evolutivos**. Universidade de São Paulo, 2010;

JANDOUREK, E., **A Model for Platform Development**, Hewlett-Packard Journal, pp. 1-18, Agosto, 1996.

JESPERSEN, J.D. & MILLER, T.D. **Development of a Universal Signal Converter Concept for Danfoss Flowmeters**, Universidade Politécnica da Dinamarca, Dissertação de Mestrado, 1995.

KELLER, J. **Algorithms Structures**, Cambridge University, 2012;

KOHLER, W. **Gestalt Psychology**, Londres: G. Bell and Sons, 1930;

KOTLER, P. **Princípios do Marketing**. São Paulo: Pearson, 2008;

LACERDA, D.P.; DRESCH, A.; VALLE ANTUNES, J.A. **Design Science Research**. São Paulo: Bookman, 2015;

LAMPEL, J. & MIINTZBERG, H. **Customizing Customization**, Sloan Management Review, pp. 21-30, 1996.

LEE, HC e TANG, M.X. **Evolutionary shape grammars for product design**, *7th International Conference on Generative Art*, Politecnico di Milano University, 2004;

LESK, A. **Introdução à Bioinformática**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2005.

LIDWELL, W. **Princípios Universais do Design**. Porto Alegre: ArtMed, 2003;

\

LOBACH, B. **Design Industrial: Bases para a Configuração dos Produtos Industriais**. São Paulo: Edgard Blucher Editora, 2001.

MAK, T.W, SHU, L.H (2004) **Abstraction of biological analogies for design.** CIRP Annals vol. 53. Issue1. p.117–120.Toronto: 2004.

MARCH, L. STEADMAN, J. P. **The Geometry of Environment: An Introduction to Spatial Organization Design.** Methuen and Co. Canada, 1971.

McCORMAK, J.; CAGAN, J.; VOGEL, C. **Speaking the Buick Language: Capturing, Understanding, and Exploring Brand Identity with Shape Grammars.** Design Studies. 25(1), 1-29. 2004.

MENDES, Douglas Rocha. **Programação Java com ênfase em orientação a objetos.** São Paulo : Novatec, 2009.

MICHALEWICZ, Z. **Genetic Algorithms+Data Structures Evolution Programs,** Springer-Verlag-1994.

MITCHELL, W. J. **The Logic of Architecture.** MIT Press, Cambridge, MA, 1992.

MUNIZ, C.; MANZOLI, A. **Desenho Técnico.** Rio de Janeiro: Lexikon, 2015;

NACHTIGALL, W. **Bionik als Wissenschaft. Erkennen → Absrahieren → Umsetzen.** Berlin: Springer, 2010;

NETO, J.P. **Programação, Algoritmos e Estruturas de Dados.** Escolar Editora, Lisboa: 2014;

OXMAN, R. (2008). **Performance-based design: current practices and research is-sues.** International Journal of Architectural Computing, 6, 1e17.

PAHL, G. & BEITZ, W., **Engineering Design: A Systematic Approach,** Springer Verlag, ISBN: 3540100179, 1996.

PINE, J. **Mass Customization: The New Frontier in Business Competition,** Harvard Business School Press, ISBN: 0875843727, 1993.

PUGLIESE, M.; CAGAN, J. **Capturing a Rebel: Modeling the Harley-Davidson Brand trough a Motorcycle Shape Grammar Research.** Engineering Design. 13(3), 139-156. 2001.

RENNER, G., e EKART, A. (2003). **Genetic algorithms in computer aided design**. Computer-Aided Design, 35(8), 709 e 726.

RIBEIRO, M. **Planejamento Visual Gráfico**. Brasília: LGE Editora, 2003;

RICCA, G. **Geometria Descritiva – Método de Monge**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011.

RIPS, L. J. . **Similarity, typicality, and categorisation**. Cambridge University Press, Cambridge, 1989;

RODRIGUES, E; GASPAR, A.R.; GOMES, A. **Evolutionary strategy enhanced with a local search technique for the space allocation problem in architecture Part 1: Methodology**. Computer-Aided Design (2013), doi: 10.1016/j.cad.2013.01.001;

ROUTIO, Pentti, **Historical Development of the Theory of Architecture**, 1998.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. Editora Saraiva, 2000;

SAMPIERI, R.H. **Metodologia de Pesquisa**. Porto Alegre: Penso ArtMed, 2013;

SANCHEZ, R e MAHONEY J. **Modularity, Flexibility an knowledge Management in Product and Organization Design**. Stratetic Management Journal, 17(10), pp. 63-76.

SANDERSON, S.W. & UZUMERI, M. **The Innovation Imperative - Strategies for Managing Product Models and Families**, ISBN: 078631009X, 1997.

SIMPSON, T. W., JIAO J. (Roger), SIDDIQUE, Z., HOLTTA-OTTO, K. **Advanced in Product Family and Product Platform Design**. Springer Science & Business Media, 2006;

STEADMAN, P.; **Architectural Morphology: An Introduction to the Geometry of Building Plans**, Londres: Pion 1983;

STINY, G.; GIPS, J. **Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture**. Em C. V. Freiman, ed., Information Processing 71. North Holland, Amsterdam. P.1460-1465. 1976.

STINY, G. **Introduction to Shape and Shape Grammars**. Environment and Planning B. London, Volume 3 p. 343-351, 1980;

TURRIN, M; BUELOW, P.V.; STOUFFS, R. **Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms**. Advanced Engineering Informatics 25(4):656-675 · October 2011

ULRICH, K. & EPPINGER, S. **Product Design and Development**", McGraw Hill, ISBN:0070658110, 1995.

ULRICH, K. & TUNG, K. **Fundamentals of product modularity, Issues in Design/Manufacture Integration** - 1991 American Society of Mechanical

TEIXEIRA, F.G. **Um Modelo Evolutivo para o Processo de Geração e Seleção de Alternativas em Design**. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Belo Horizonte: Blucher Design Proceedings, 2016; num. 2, vol. 9

VARZI, A. **Mereology**. In: ZALTA, E. N. (Ed.).The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Spring 2011. Stanford University, 2011.

VOSNIADOU, S. e ORTONY, A. **Similarity and Analogical Reasoning: a Synthesis**, in S. Vosniadou and Ortony (eds), Similarity and Analogical Reasoning, Cambridge University Press, Cambridge, pp 1-18.

WERTHEIMER, M. **Productive Thinking**, Nova York: Harper, 1945;

WONG, W. **Princípios da Forma e do Desenho**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

APÊNDICE A

O Quadro 26 apresenta uma mutação (Mutação 1) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 27: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Mutação 1

Mutação 1

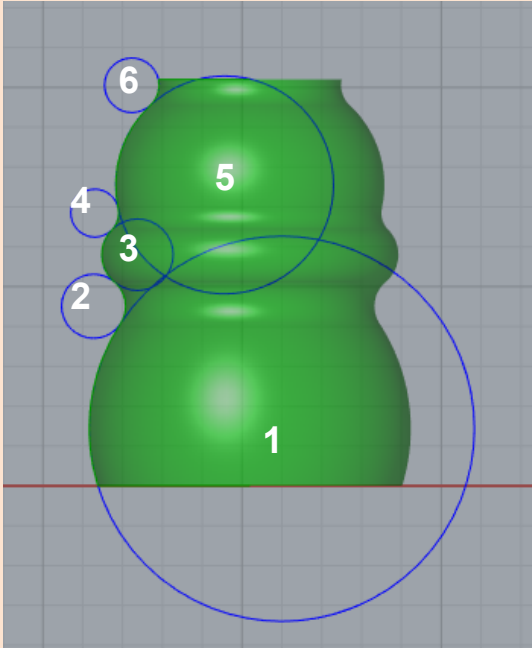
Gene Area	Locus= {6 ,area = 10.2}
Gene1	Insertion {scale=682.79 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene2	Subtract{scale=113.55 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion{scale=126.73 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene4	Subtract{scale=84.92 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene5	Insertion{scale=51.36 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene6	Insertion{scale=410.63 %, translation= 79.97 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 27 apresenta uma mutação (Mutação 2) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 28: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Mutação 2

Mutação 2

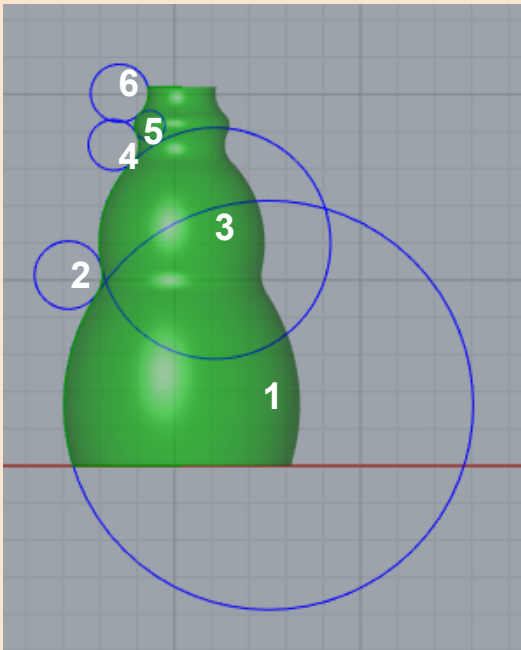
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gene Area</th> <th>locus= {6 ,area = 10.2}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gene1</td> <td>Insertion{scale=567.00 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene2</td> <td>Subtract{scale=94.30 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene3</td> <td>Insertion{scale=105.24 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene4</td> <td>Subtract{scale=70.52 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene5</td> <td>Insertion{scale=341.00 %, translation= 79.97 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene6</td> <td>Subtract{scale=80.30 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}</td> </tr> </tbody> </table>	Gene Area	locus= {6 ,area = 10.2}	Gene1	Insertion{scale=567.00 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}	Gene2	Subtract{scale=94.30 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}	Gene3	Insertion{scale=105.24 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}	Gene4	Subtract{scale=70.52 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}	Gene5	Insertion{scale=341.00 %, translation= 79.97 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}	Gene6	Subtract{scale=80.30 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene Area	locus= {6 ,area = 10.2}														
Gene1	Insertion{scale=567.00 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}														
Gene2	Subtract{scale=94.30 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}														
Gene3	Insertion{scale=105.24 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}														
Gene4	Subtract{scale=70.52 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}														
Gene5	Insertion{scale=341.00 %, translation= 79.97 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}														
Gene6	Subtract{scale=80.30 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}														

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 28 apresenta uma mutação (Mutação 3) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 29: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Mutação 3

Mutação 3

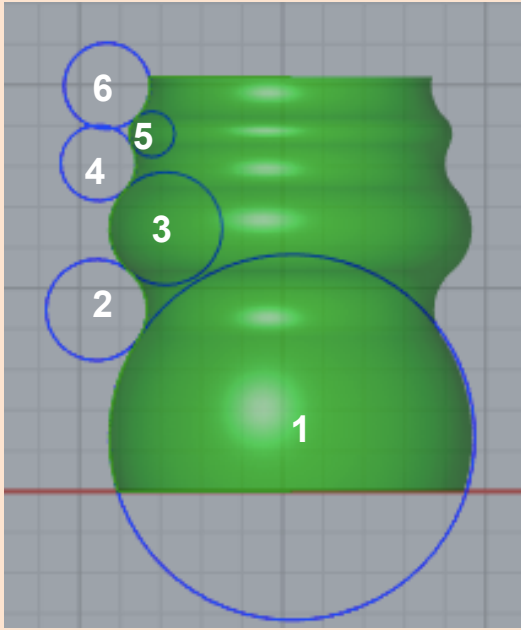
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Gene Area</td> <td>{locus= 6 ,area = 10.2}</td> </tr> <tr> <td>Gene1</td> <td>Insertion{scale=646.68 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene2</td> <td>Subtract{scale=107.55 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene3</td> <td>Insertion{scale=388.92 %, translation= 79.97 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene4</td> <td>Subtract{scale=80.43 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene5</td> <td>Insertion{scale=48.64 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene6</td> <td>Subtract{scale=91.58 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}</td> </tr> </tbody> </table>	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}	Gene1	Insertion{scale=646.68 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}	Gene2	Subtract{scale=107.55 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}	Gene3	Insertion{scale=388.92 %, translation= 79.97 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}	Gene4	Subtract{scale=80.43 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}	Gene5	Insertion{scale=48.64 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}	Gene6	Subtract{scale=91.58 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}														
Gene1	Insertion{scale=646.68 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}														
Gene2	Subtract{scale=107.55 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}														
Gene3	Insertion{scale=388.92 %, translation= 79.97 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}														
Gene4	Subtract{scale=80.43 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}														
Gene5	Insertion{scale=48.64 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}														
Gene6	Subtract{scale=91.58 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}														

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 29 apresenta uma mutação (Mutação 4) gerada partir da opera o de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orienta o da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orienta o da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orienta o da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orienta o da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orienta o da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orienta o da curva para a direita.

Quadro 30: Fluxo Gênico (Embalagem de 45gr) Muta o 4

Muta o 4

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=529.17 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=146.33 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=163.32 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=109.44 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=66.19 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=124.61 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

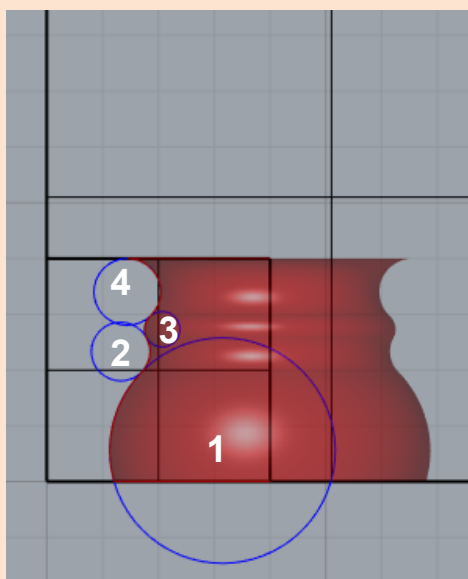
Uma vez gerada a população inicial, ocorrem as sucessivas gerações de filhos através das operações de cruzamento genético (combinação e mutação) sendo avaliadas pelo *Fitness* (Distância de Levenshtein) até encontrar a convergência programada. As imagens a seguir apresentam a amostra de população pré-selecionada com os melhores índices de ranqueamento.

O Quadro 30 apresenta um filho (Filho 1) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; e o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 31: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 1

Filho 1

Gene Area	locus= {locus= 4 ,area = 4}
Gene1	Insertion{scale=234.55 %, translation= 79.97 °, penetration=- 29.06 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene2	Subtract{scale=44.42 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion{scale=26.87 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene4	Subtract{scale=50.58 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

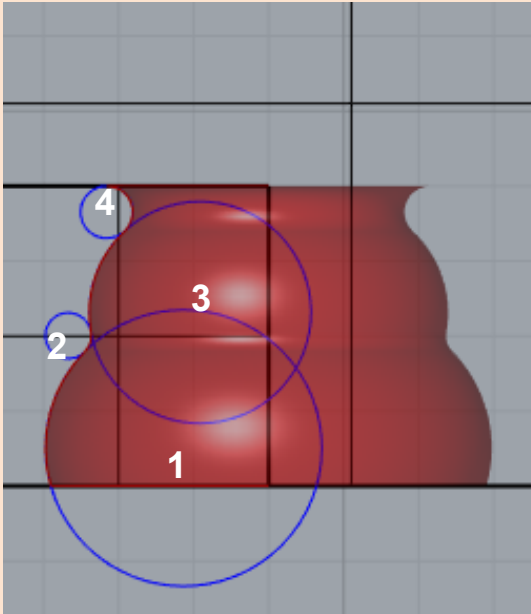


Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 31 apresenta um filho (Filho 2) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; e o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 32: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 2

Filho 2

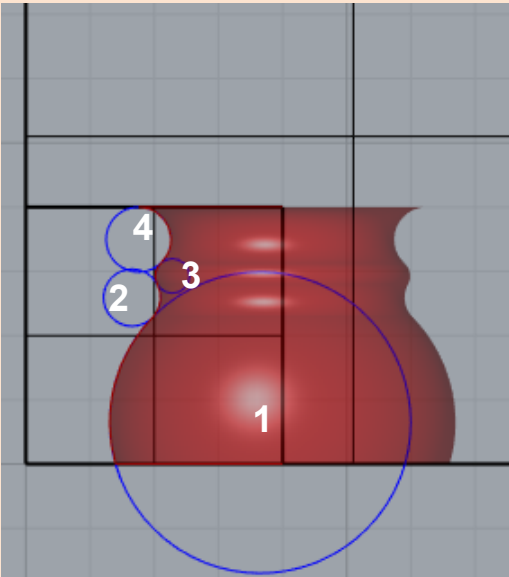
	Gene Area	locus= {locus= 4 ,area = 4}
Gene1	Insertion{scale=184.17 %, translation= 79.97 °, penetration=- 29.06 %, pregnancy= 100.00 %}	
Gene2	Subtract{scale=30.58 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}	
Gene3	Insertion{scale=147.88 %, translation= 79.97 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}	
Gene4	Subtract{scale=34.82 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}	

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 32 apresenta um filho (Filho 3) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; e o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 33: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 3

Filho 3

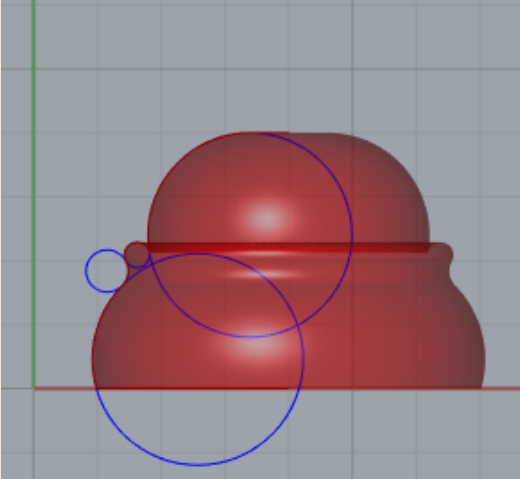
	Gene Area {locus= 4 ,area = 4}
Gene1	Insertion{scale=203.09 %, translation= 79.97 °, penetration=- 29.06 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene2	Subtract{scale=52.34 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion{scale=31.65 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene4	Subtract{scale=59.59 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 33 apresenta um filho (Filho 4) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; e o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 34: Cruzamento (Embalagem de 45gr) Filho 4

Filho 4

	Gene Area	{locus= 4 ,area = 4}
	Gene1	GeneInsertion{scale=165.28 %, translation= 79.97 °, penetration=- 29.06 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=33.05 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=19.99 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene4	Insertion{scale=159.82 %, translation= 79.97 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 100.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 34 apresenta uma mutação (Mutação 1) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 35: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 1

Mutação 1

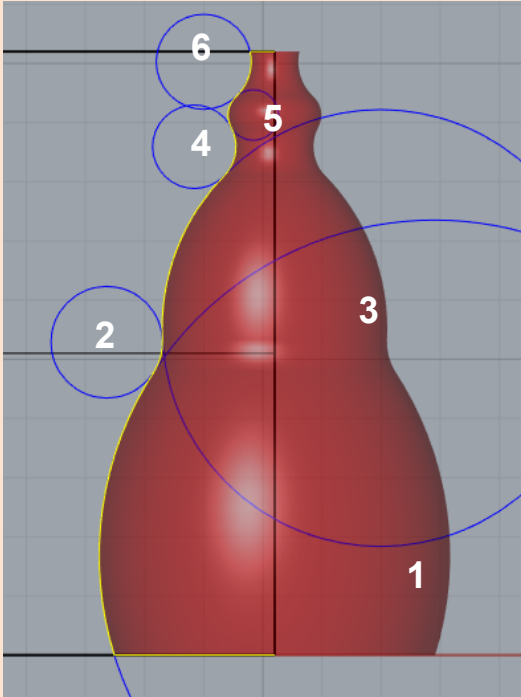
Gene Area	locus= {6 ,area = 10.2}
Gene1	Insertion{scale=555.77 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene2	Subtract{scale=141.99 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion{scale=158.47 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene4	Subtract{scale=106.19 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene5	Insertion{scale=64.22 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene6	Subtract{scale=120.91 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 35 apresenta uma mutação (Mutação 2) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 36: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 2

Mutação 2

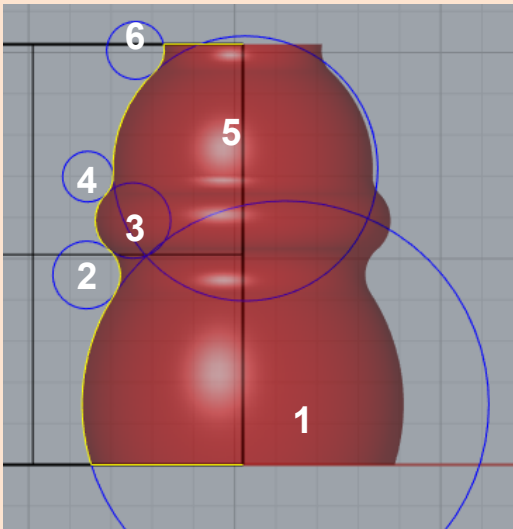
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=667.16 % , translation= 82.57 � , penetration=- 64.73 % , pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=110.95 % , translation=- 56.95 � , penetration= 0.04 % , pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=434.28 % , translation= 87.04 � , penetration= 0.00 % , pregnancy= 50.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=82.98 % , translation=- 45.78 � , penetration= 0.25 % , pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=50.18 % , translation= 61.76 � , penetration=- 0.05 % , pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=94.48 % , translation=- 42.96 � , penetration= 0.03 % , pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 36 apresenta uma mutação (Mutação 3) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 37: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 3

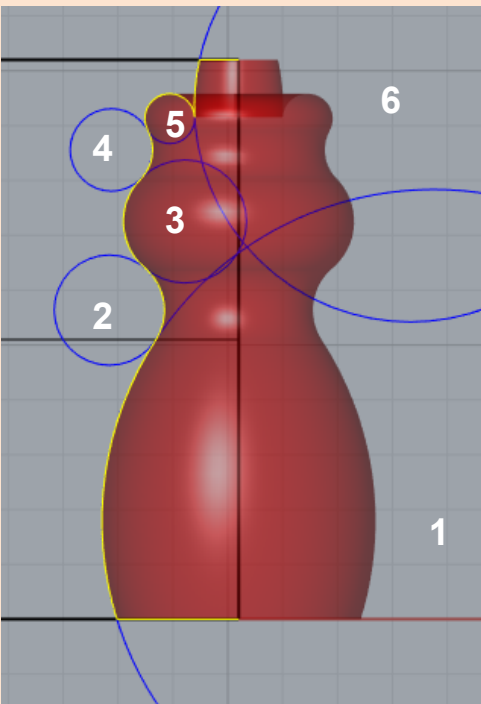
Mutação 3

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=580.76 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=96.58 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=107.79 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=72.23 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=378.04 %, translation= 87.04 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=82.24 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

O Quadro 37 apresenta uma mutação (Mutação 4) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 45g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 38: Fluxo Gênico (Embalagem de 450gr) Mutação 4

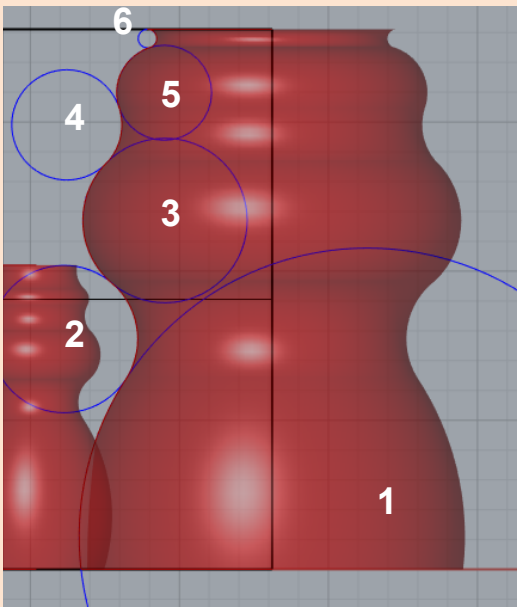
Mutação 4

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=710.98 % , translation= 82.57 � , penetration=- 64.73 % , pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=118.24 % , translation=- 56.95 � , penetration= 0.04 % , pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=131.97 % , translation= 40.42 � , penetration= 0.15 % , pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=88.43 % , translation=- 45.78 � , penetration= 0.25 % , pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=53.48 % , translation= 61.76 � , penetration=- 0.05 % , pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Insertion{scale=462.81 % , translation= 87.04 � , penetration= 0.00 % , pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Uma vez gerada a população inicial, ocorrem as sucessivas gerações de filhos através das operações de cruzamento genético (combinação e mutação) sendo avaliadas pelo *Fitness* (Distância de Levenshtein) até encontrar a convergência programada. As imagens a seguir apresentam a amostra de população pré-selecionada com os melhores índices de ranqueamento. O Quadro 38 apresenta um filho (Filho1) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 450g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

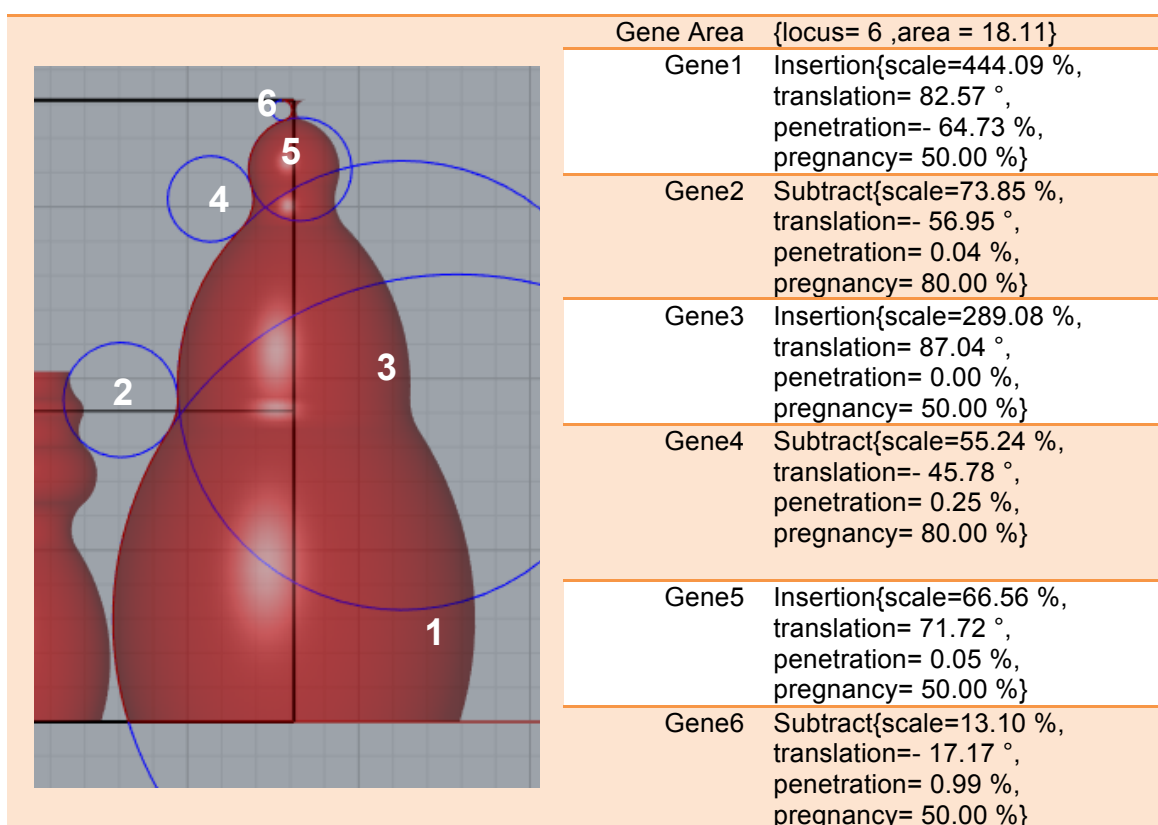
Quadro 39: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho1

Filho 1	
	Gene Area locus= {locus= 6 ,area = 18.11}
Gene1	Insertion{scale=555.77 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene2	Subtract{scale=141.99 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion{scale=158.47 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene4	Subtract{scale=106.19 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene5	Insertion{scale=64.22 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene6	Subtract{scale=120.91 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

O Quadro 39 apresenta um filho (Filho2) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 450g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 40: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho2

Filho 2

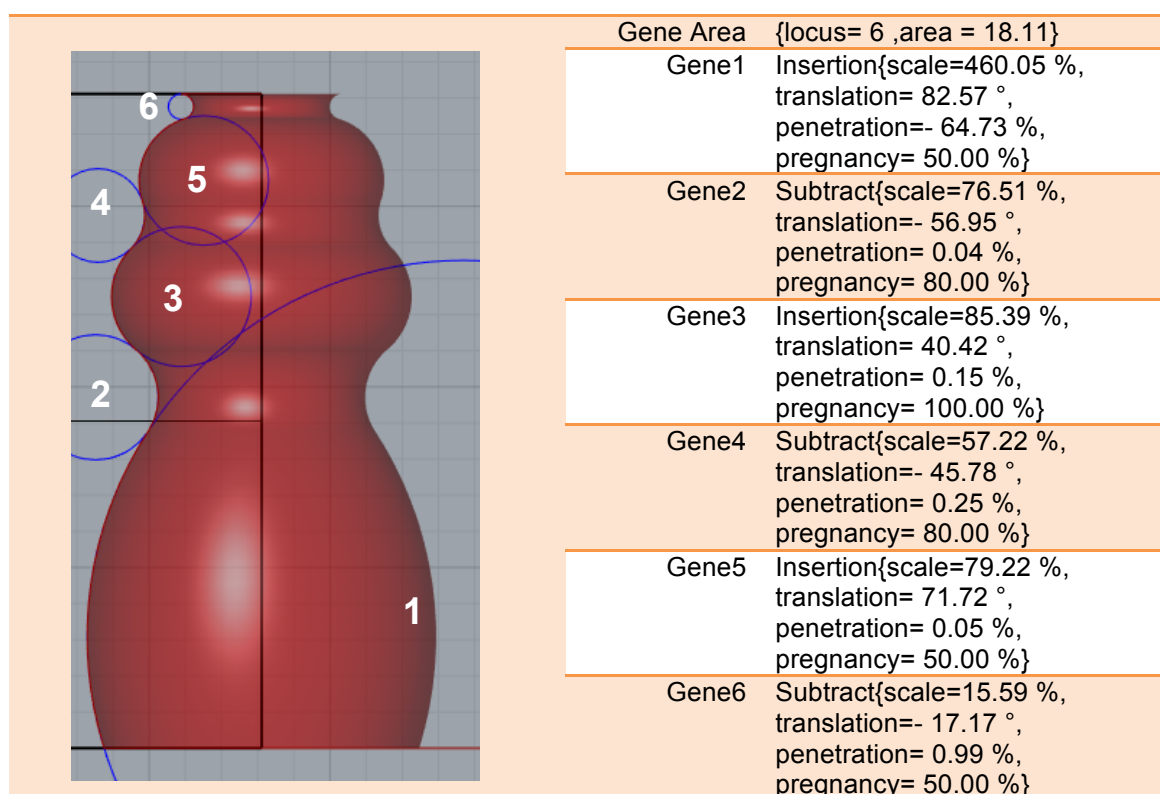


Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 40 apresenta um filho (Filho3) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 450g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 41: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho3

Filho 3

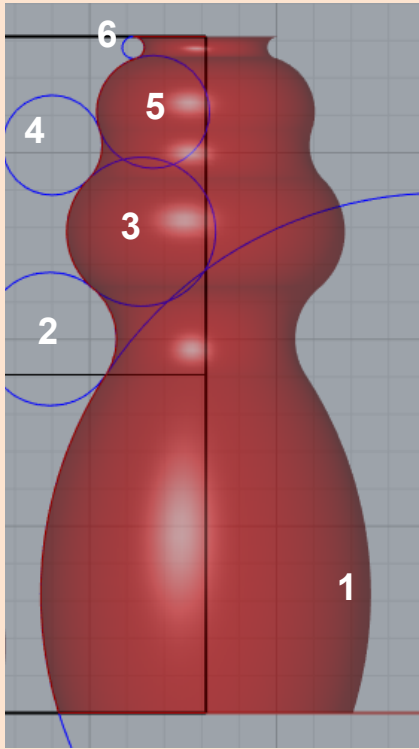


Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 41 apresenta um filho (Filho4) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 450g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 42: Cruzamento (Embalagem de 450gr) Filho 4

Filho 4

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 18.11}
	Gene1	Insertion{scale=474.24 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=78.87 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=88.02 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=58.99 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=66.70 %, translation= 71.72 °, penetration= 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=13.13 %, translation=- 17.17 °, penetration= 0.99 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 42 apresenta uma mutação (Mutação1) gerada partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 43: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutação 1

Mutação 1

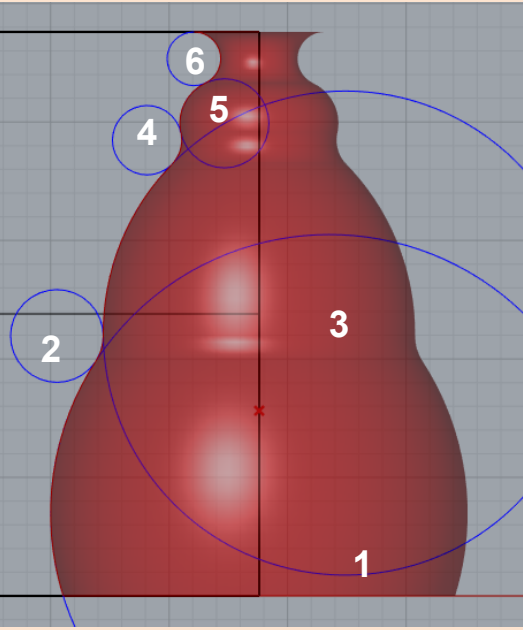
Gene Area	locus= {6 ,area = 10.2}
Gene1	Insertion{scale=656.00 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene2	Subtract{scale=125.62 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion{scale=140.20 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene4	Subtract{scale=93.95 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene5	Insertion{scale=56.82 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene6	Subtract{scale=106.97 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 43 apresenta uma mutação (Mutação2) gerada partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 44: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutação 2

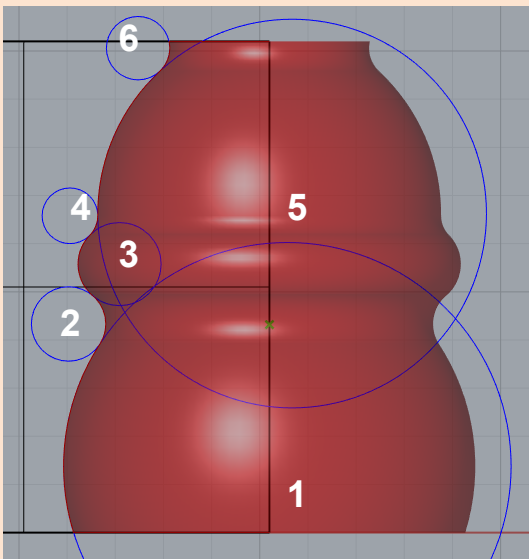
Mutação 2

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=625.46 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=104.02 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=543.18 %, translation= 89.42 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=77.79 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=47.05 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=88.58 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

O Quadro 44 apresenta uma mutação (Mutação3) gerada partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 45: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutação 3

Mutação 3

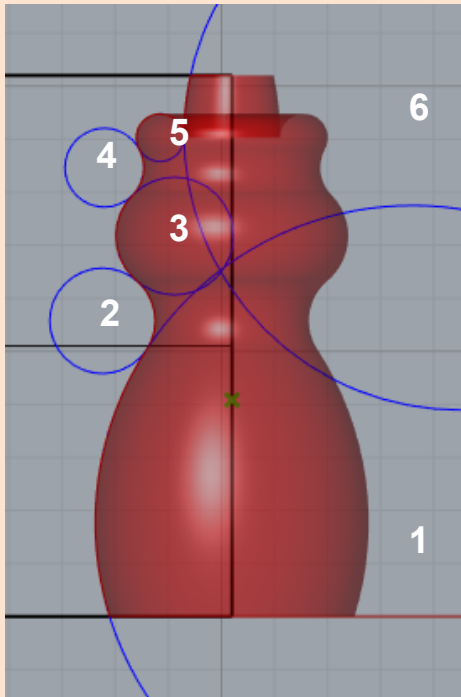
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=546.60 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=90.90 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=101.45 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=67.99 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=474.69 %, translation= 89.42 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=77.41 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 45 apresenta uma mutação (Mutaçã04) gerada partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900g). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 46: Fluxo Gênico (Embalagem de 900gr) Mutaçã0 4

Mutaçã0 4

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=706.14 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=117.43 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=131.07 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=87.83 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=53.12 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Insertion{scale=613.25 %, translation= 89.42 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Uma vez gerada a população inicial, ocorrem as sucessivas gerações de filhos através das operações de cruzamento genético (combinação e mutação) sendo avaliadas pelo *Fitness* (Distância de Levenshtein) até encontrar a convergência programada. As imagens a seguir apresentam a amostra de população pré-selecionada com os melhores índices de ranqueamento. O Quadro 46 apresenta um filho (Filho1) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900gr). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

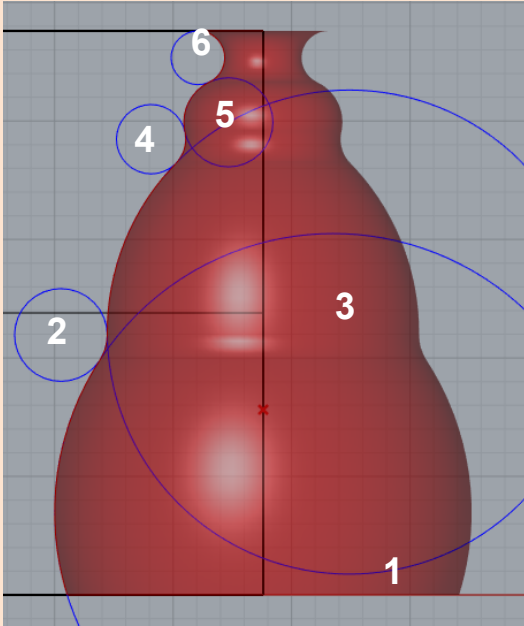
Quadro 47: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho1

Filho 1	
	Gene Area locus= {locus= 6 ,area = 23.8}
	Gene1 Insertion{scale=425.87 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2 Subtract{scale=81.55 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3 Insertion{scale=91.02 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4 Subtract{scale=60.99 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5 Insertion{scale=64.92 %, translation= 77.67 °, penetration= 0.11 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6 Subtract{scale=39.10 %, translation=- 25.28 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}

O Quadro 47 apresenta um filho (Filho2) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900gr). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 48: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho2

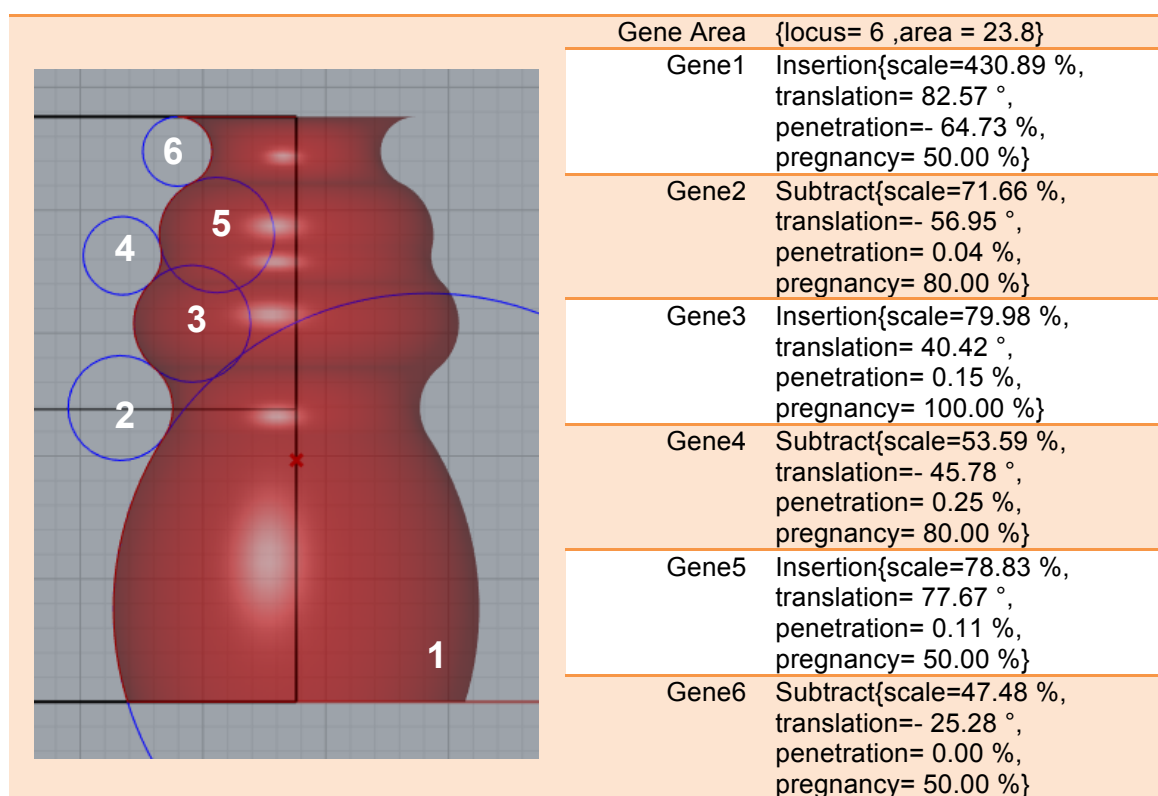
Filho 2

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 23.8}
	Gene1	Insertion{scale=395.34 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=65.75 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=343.33 %, translation= 89.42 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=49.17 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=63.21 %, translation= 77.67 °, penetration= 0.11 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=38.07 %, translation=- 25.28 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}

O Quadro 48 apresenta um filho (Filho3) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900gr). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 49: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho3

Filho 3



Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 49 apresenta um filho (Filho4) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 900gr). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 50: Cruzamento (Embalagem de 900gr) Filho4

Filho 4

Gene	Area	{locus= 6 ,area = 23.8}
Gene1	Insertion	{scale=453.76 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene2	Subtract	{scale=75.46 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion	{scale=84.22 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene4	Subtract	{scale=56.44 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene5	Insertion	{scale=64.26 %, translation= 77.67 °, penetration= 0.11 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene6	Subtract	{scale=38.70 %, translation=- 25.28 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 50 apresenta uma mutação (Mutação 1) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 51: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç o1

Mutação 1

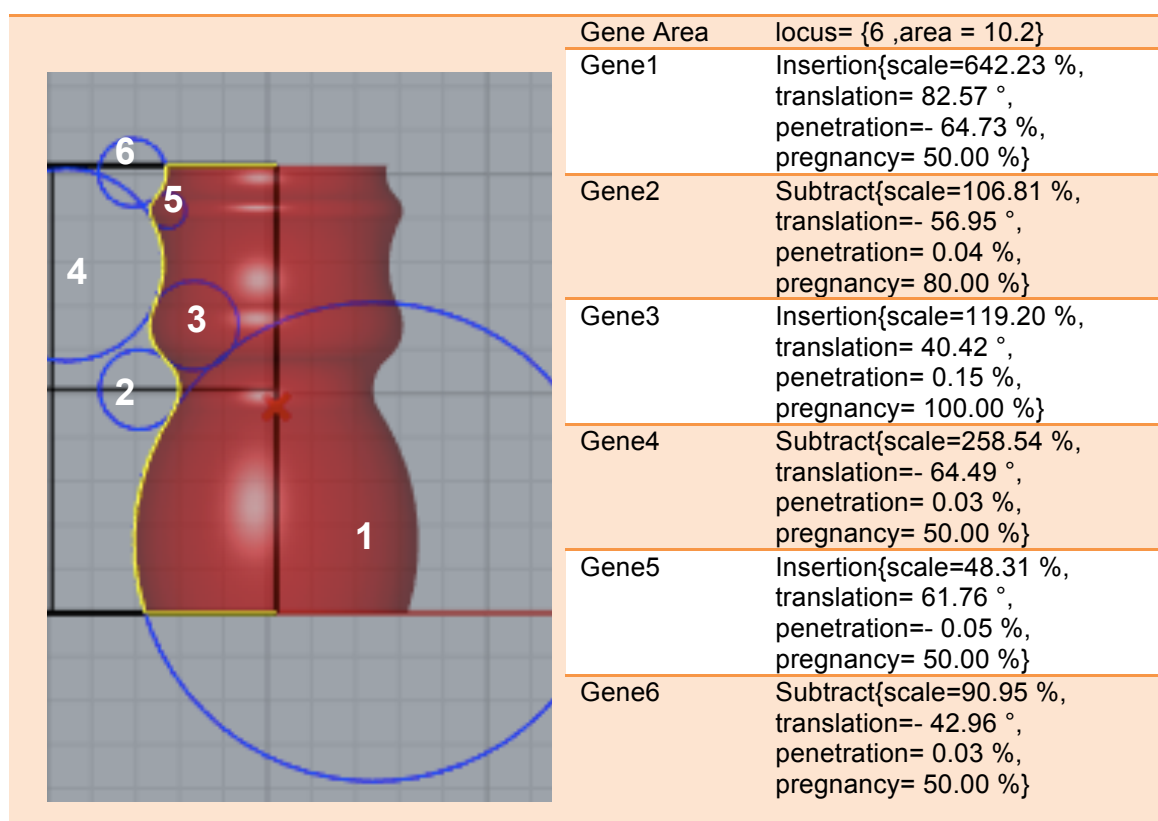
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=649.60 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=261.51 %, translation=- 64.49 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=120.57 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=80.80 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=48.86 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=91.99 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 51 apresenta uma mutação (Mutação 2) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 52: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç o2

Mutação 2

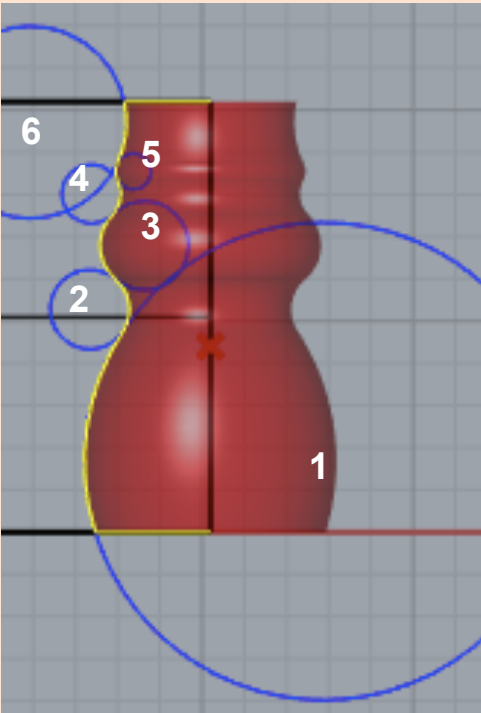


Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 52 apresenta uma mutação (Mutação 3) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 53: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç o3

Mutação 3

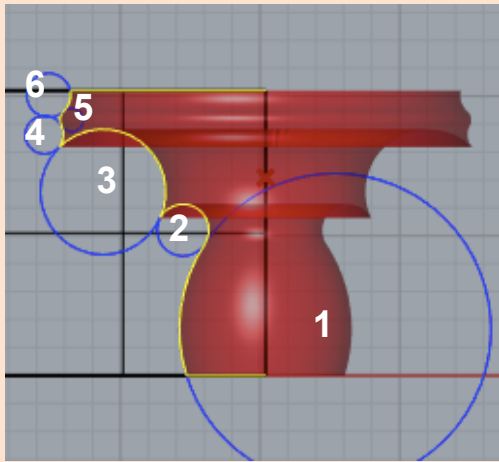
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=665.71 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=110.71 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=123.56 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=82.80 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=50.08 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=267.99 %, translation=- 64.49 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 53 apresenta uma mutação (Mutação 4) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a esquerda; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 54: Mutação (Embalagem de 100ml) Mutaç o4

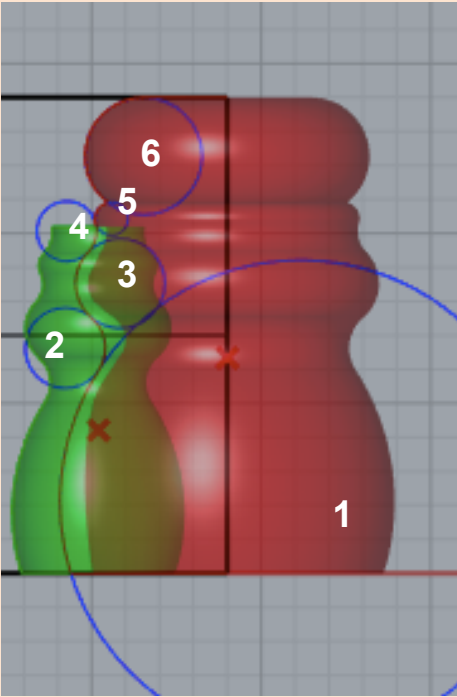
Mutação 4

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=656.41 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=109.16 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Subtract{scale=264.25 %, translation=- 64.49 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=81.64 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=49.38 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=92.96 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Uma vez gerada a população inicial, ocorrem as sucessivas gerações de filhos através das operações de cruzamento genético (combinação e mutação) sendo avaliadas pelo *Fitness* (Distância de Levenshtein) até encontrar a convergência programada. As imagens a seguir apresentam a amostra de população pré-selecionada com os melhores índices de ranqueamento. O Quadro 54 apresenta um filho (Filho1) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 55: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho1

Filho 1															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gene Area</th> <th>{locus= 6 ,area = 14}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gene1</td> <td>Insertion{scale=507.63 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene2</td> <td>Subtract{scale=37.77 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene3</td> <td>Insertion{scale=94.22 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene4</td> <td>Subtract{scale=63.14 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene5</td> <td>Insertion{scale=35.31 %, translation= 74.34 °, penetration= 0.95 %, pregnancy= 50.00 %}</td> </tr> <tr> <td>Gene6</td> <td>Insertion{scale=123.48 %, translation= 27.22 °, penetration= 4.46 %, pregnancy= 60.00 %}</td> </tr> </tbody> </table>	Gene Area	{locus= 6 ,area = 14}	Gene1	Insertion{scale=507.63 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}	Gene2	Subtract{scale=37.77 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}	Gene3	Insertion{scale=94.22 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}	Gene4	Subtract{scale=63.14 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}	Gene5	Insertion{scale=35.31 %, translation= 74.34 °, penetration= 0.95 %, pregnancy= 50.00 %}	Gene6	Insertion{scale=123.48 %, translation= 27.22 °, penetration= 4.46 %, pregnancy= 60.00 %}
Gene Area	{locus= 6 ,area = 14}														
Gene1	Insertion{scale=507.63 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}														
Gene2	Subtract{scale=37.77 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}														
Gene3	Insertion{scale=94.22 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}														
Gene4	Subtract{scale=63.14 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}														
Gene5	Insertion{scale=35.31 %, translation= 74.34 °, penetration= 0.95 %, pregnancy= 50.00 %}														
Gene6	Insertion{scale=123.48 %, translation= 27.22 °, penetration= 4.46 %, pregnancy= 60.00 %}														

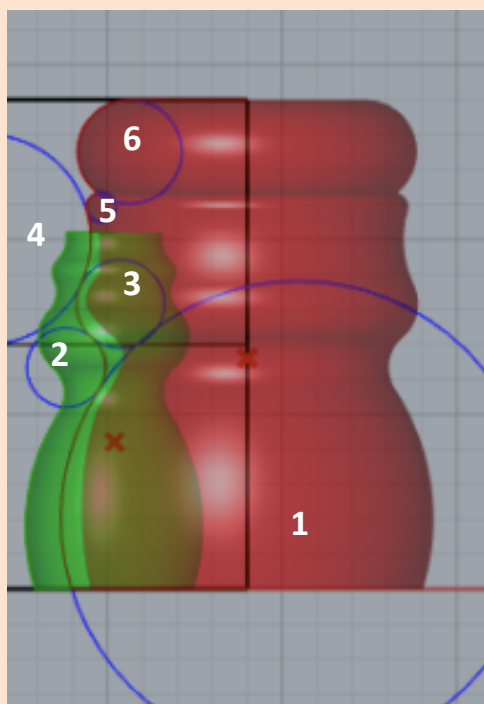
Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 55 apresenta um filho (Filho2) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 56: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho2

Filho 2

Gene Area	{locus= 6 ,area = 14}
Gene1	Insertion{scale=485.54 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene2	Subtract{scale=80.75 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion{scale=90.12 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene4	Subtract{scale=214.91 %, translation=- 64.49 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene5	Insertion{scale=30.47 %, translation= 74.34 °, penetration= 0.95 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene6	Insertion{scale=106.54 %, translation= 27.22 °, penetration= 4.46 %, pregnancy= 60.00 %}

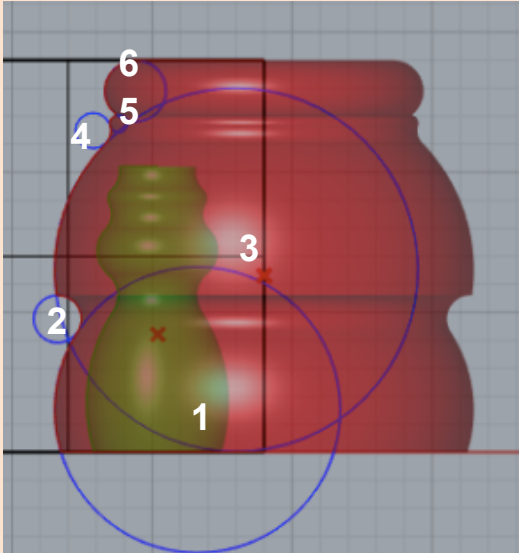


Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 56 apresenta um filho (Filho3) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 57: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho3

Filho 3

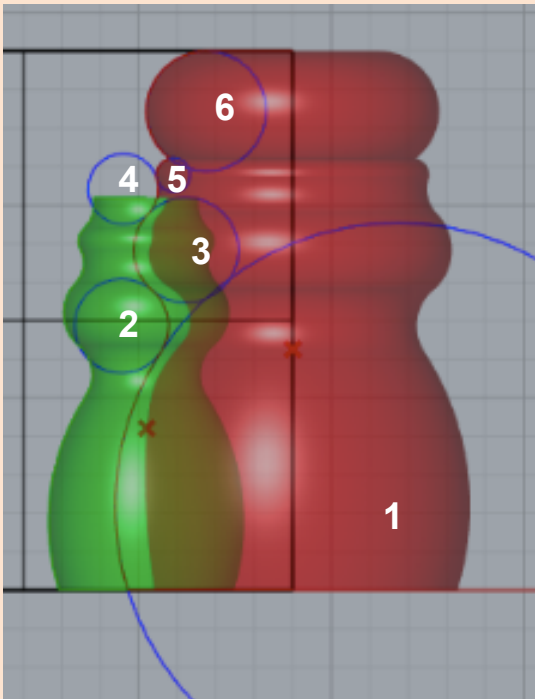
Gene Area {locus= 6 ,area = 14}	
	Gene1 Insertion{scale=364.65 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2 Subtract{scale=60.64 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3 Insertion{scale=463.53 %, translation= 74.60 °, penetration= 5.61 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene4 Subtract{scale=45.36 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5 Insertion{scale=22.39 %, translation= 74.34 °, penetration= 0.95 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6 Insertion{scale=78.29 %, translation= 27.22 °, penetration= 4.46 %, pregnancy= 60.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 57 apresenta um filho (Filho4) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 100ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 58: Cruzamento (Embalagem de 100ml) Filho4

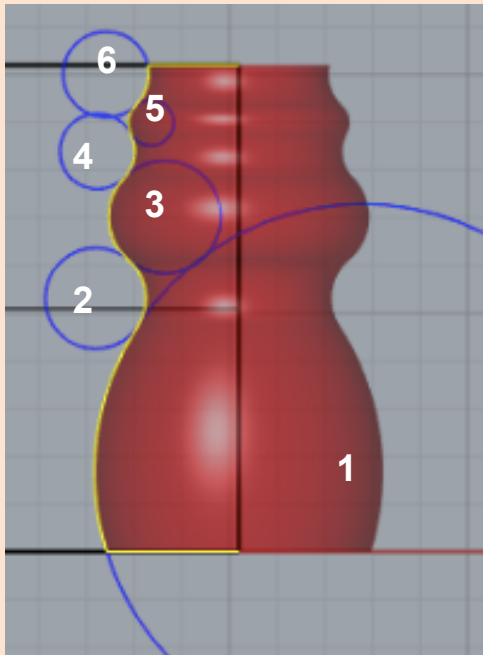
Filho 4

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 14}
	Gene1	Insertion{scale=525.65 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=87.42 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=97.57 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=65.38 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=31.82 %, translation= 74.34 °, penetration= 0.95 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Insertion{scale=111.27 %, translation= 27.22 °, penetration= 4.46 %, pregnancy= 60.00 %}

O Quadro 58 apresenta uma mutação (Mutação 1) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 59: Fluxo Gênico (Embalagem de 400ml) Mutaç o1

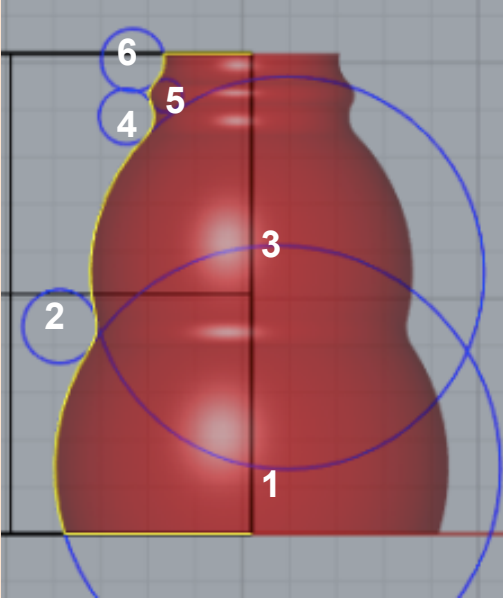
Mutação 1

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=661.53 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 65.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=124.72 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=139.20 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=93.28 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=56.41 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=106.20 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

O Quadro 59 apresenta uma mutação (Mutação 2) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 60: Mutação (Embalagem de 400ml) Mutaç o2

Mutação 2

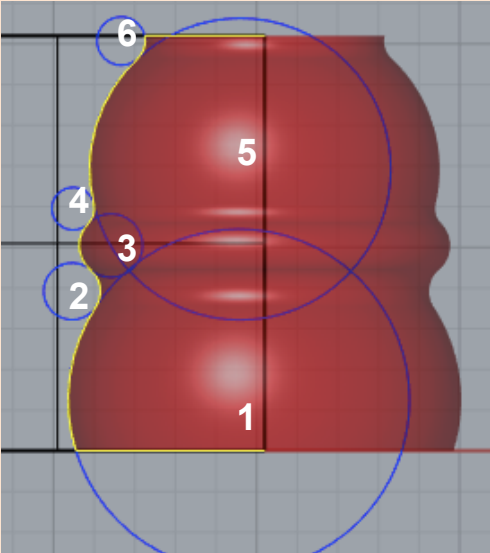
	Gene Area	locus= {6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=555.89 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=92.45 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=490.36 %, translation= 76.71 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 65.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=69.14 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=41.82 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=78.72 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 60 apresenta uma mutação (Mutação 3) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 61: Mutação (Embalagem de 400ml) Mutaç o3

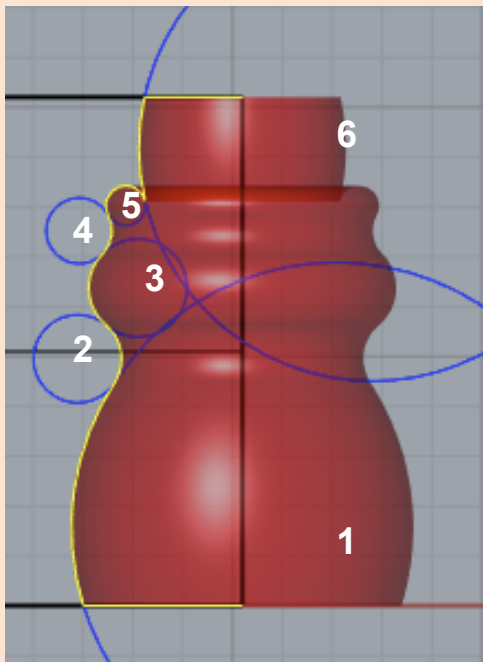
Mutação 3

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=494.49 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=82.24 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=91.78 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=61.50 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=436.20 %, translation= 76.71 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 65.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=70.03 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

O Quadro 60 apresenta uma mutação (Mutação 4) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 62: Mutação (Embalagem de 400ml) Mutaç o4

Mutação 4

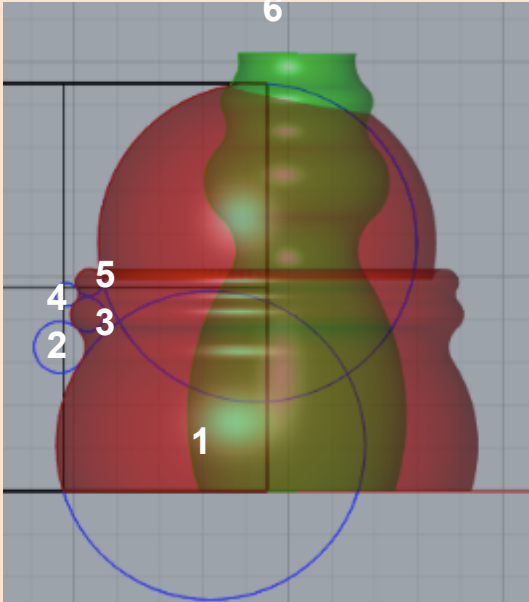
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=624.98 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=103.94 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=116.00 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=77.73 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=47.01 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Insertion{scale=551.31 %, translation= 76.71 �, penetration= 0.00 %, pregnancy= 65.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Uma vez gerada a população inicial, ocorrem as sucessivas gerações de filhos através das operações de cruzamento genético (combinação e mutação) sendo avaliadas pelo *Fitness* (Distância de Levenshtein) até encontrar a convergência programada. As imagens a seguir apresentam a amostra de população pré-selecionada com os melhores índices de ranqueamento. O Quadro 62 apresenta um filho (Filho1) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 63: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho1

Filho 1

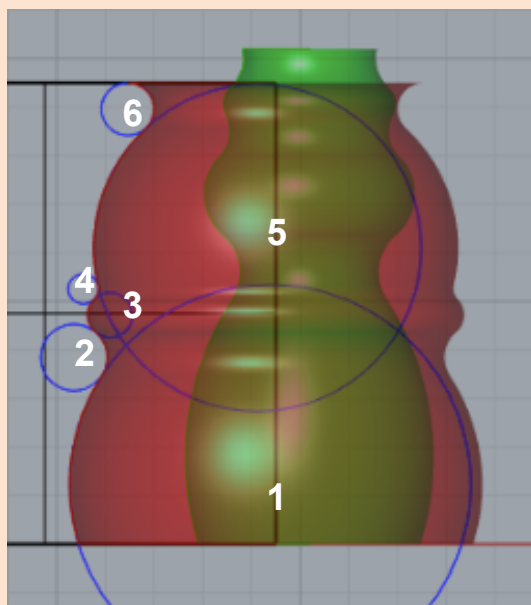
	Gene Area	locus= {locus= 6 ,area = 9.5}
	Gene1	Insertion{scale=227.13 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=37.77 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=25.46 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=17.06 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=19.99 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Insertion{scale=234.46 %, translation= 76.71 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 65.00 %}

O Quadro 63 apresenta um filho (Filho2) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 64: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho2

Filho 2

Gene	Area	{locus= 6 ,area = 9.5}
Gene1	Insertion	{scale=260.38 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene2	Subtract	{scale=43.30 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene3	Insertion	{scale=29.19 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
Gene4	Subtract	{scale=19.56 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
Gene5	Insertion	{scale=212.66 %, translation= 76.71 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 65.00 %}
Gene6	Subtract	{scale=34.14 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

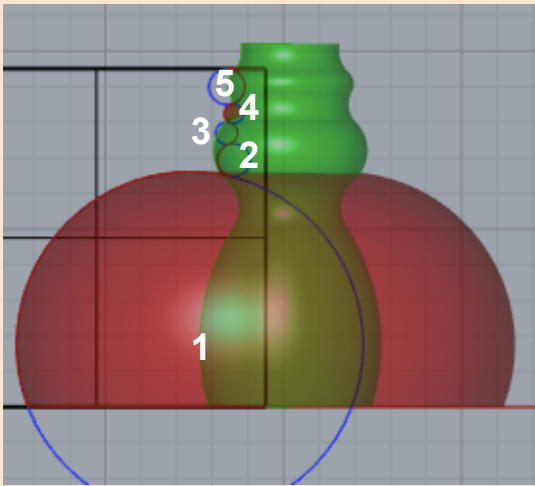


Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 64 apresenta um filho (Filho3) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a direita; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a direita; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 65: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho3

Filho 3

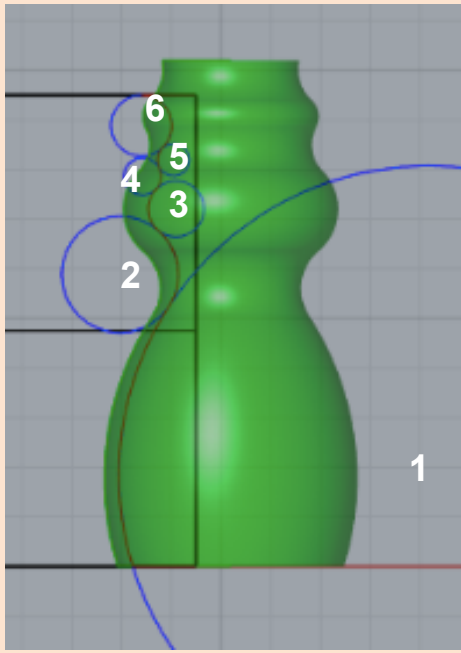
	Gene Area {locus= 5 ,area = 9.5}
	Gene1 Insertion{scale=307.42 %, translation= 76.71 °, penetration=- 27.79 %, pregnancy= 65.00 %}
	Gene2 Insertion{scale=29.55 %, translation= 13.34 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene3 Subtract{scale=19.80 %, translation=- 15.11 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene4 Insertion{scale=17.12 %, translation= 20.38 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene5 Subtract{scale=32.23 %, translation=- 14.18 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 62 apresenta um filho (Filho4) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 66: Cruzamento (Embalagem de 400ml) Filho4

Filho 4

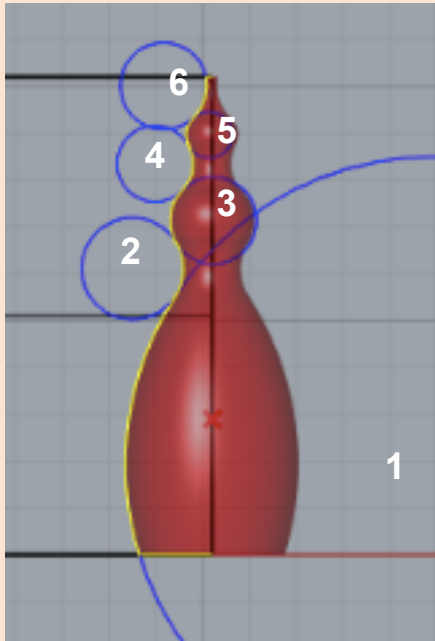
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 9.5}
	Gene1	Insertion{scale=393.45 %, translation= 82.57 °, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 65.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=74.18 %, translation=- 56.95 °, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=35.61 %, translation= 40.42 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=23.86 %, translation=- 45.78 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=20.63 %, translation= 61.76 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=38.84 %, translation=- 42.96 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 65 apresenta uma mutação (Mutação 1) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 700ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 67: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Mutaç o1

Mutação 1

	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=770.39 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=128.12 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=109.10 %, translation= 59.34 �, penetration= 0.37 %, pregnancy= 30.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=95.82 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=57.95 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=109.10 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 67 apresenta uma mutação (Mutação 2) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 700ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a direita; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 68: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Mutaç o2

Mutação 2

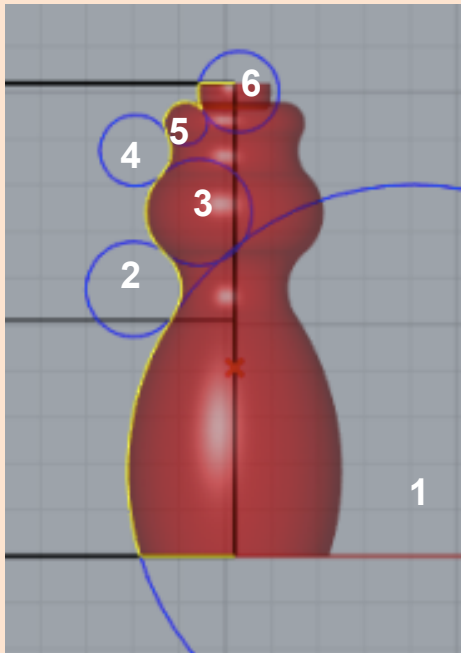
	Gene Area	locus= {6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=481.22 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=80.03 %, translation=- 18.79 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=89.32 %, translation= 13.34 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Insertion{scale=68.15 %, translation= 19.58 �, penetration= 0.37 %, pregnancy= 30.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=36.20 %, translation= 20.38 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
Gene6	Subtract{scale=68.15 %, translation=- 14.18 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}	

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 68 apresenta uma mutação (Mutação 3) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 700ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orienta o da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orienta o da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orienta o da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orienta o da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orienta o da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orienta o da curva para a direita.

Quadro 69: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Muta o3

Muta o 3

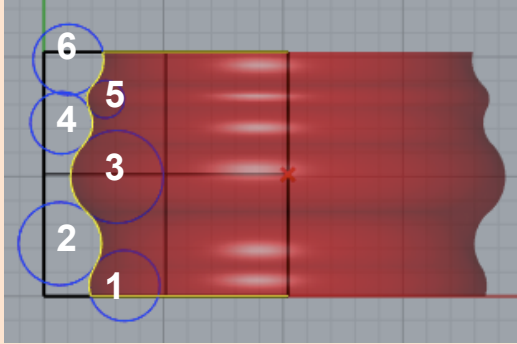
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=726.92 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=120.89 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=134.92 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=90.41 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=54.68 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Insertion{scale=102.94 %, translation= 59.34 �, penetration= 0.37 %, pregnancy= 30.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 69 apresenta uma mutação (Mutação 4) gerada partir da operação de fluxo gênico da forma seminal para a forma receptora (embalagem de 700ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 70: Fluxo Gênico (Embalagem de 700ml) Mutaç o4

Mutação 4

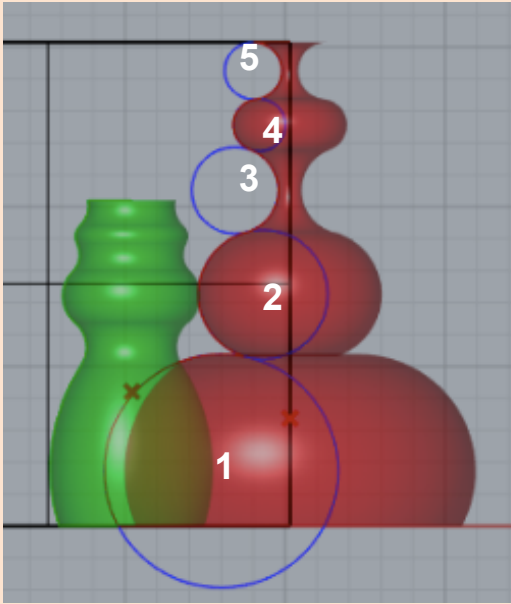
	Gene Area	{locus= 6 ,area = 10.2}
	Gene1	Insertion{scale=174.00 %, translation= 82.57 �, penetration=- 64.73 %, pregnancy= 30.00 %}
	Gene2	Subtract{scale=204.33 %, translation=- 56.95 �, penetration= 0.04 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Insertion{scale=228.05 %, translation= 40.42 �, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene4	Subtract{scale=152.82 %, translation=- 45.78 �, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=92.42 %, translation= 61.76 �, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene6	Subtract{scale=174.00 %, translation=- 42.96 �, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Uma vez gerada a população inicial, ocorrem as sucessivas gerações de filhos através das operações de cruzamento genético (combinação e mutação) sendo avaliadas pelo *Fitness* (Distância de Levenshtein) até encontrar a convergência programada. As imagens a seguir apresentam a amostra de população pré-selecionada com os melhores índices de ranqueamento. O Quadro 70 apresenta um filho (Filho1) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a direita; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a direita; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 71: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho1

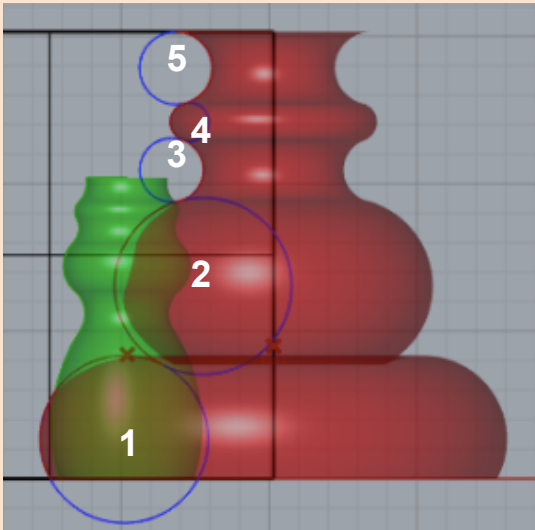
Filho 1

	Gene Area	{locus= 5 ,area = 15.15}
	Gene1	Insertion{scale=193.14 %, translation= 82.45 °, penetration=- 129.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene2	Insertion{scale=107.02 %, translation= 13.34 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene3	Subtract{scale=71.72 %, translation=- 15.11 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene4	Insertion{scale=43.37 %, translation= 20.38 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene5	Subtract{scale=47.18 %, translation=- 6.36 °, penetration= 0.10 %, pregnancy= 30.00 %}

O Quadro 71 apresenta um filho (Filho1) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a direita; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a direita; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a esquerda.

Quadro 72: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho2

Filho 2

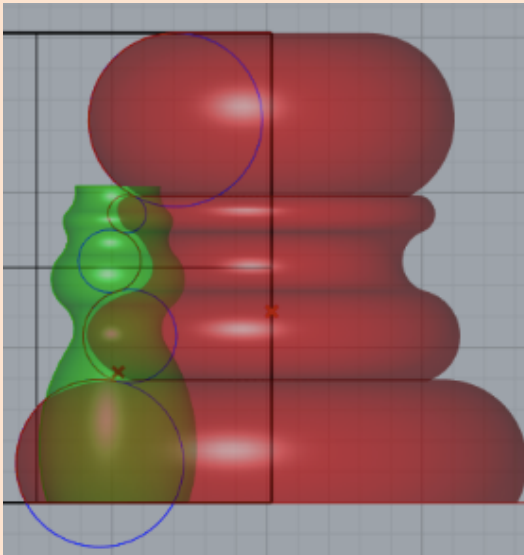
	Gene Area	{locus= 5 ,area = 15.15}
	Gene1	Insertion{scale=149.99 %, translation= 82.45 °, penetration=- 129.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene2	Insertion{scale=158.31 %, translation= 27.21 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene3	Subtract{scale=57.10 %, translation=- 15.11 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene4	Insertion{scale=34.53 %, translation= 20.38 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene5	Subtract{scale=65.02 %, translation=- 14.18 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 72 apresenta um filho (Filho3) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a direita; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a direita; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 73: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho3

Filho 3

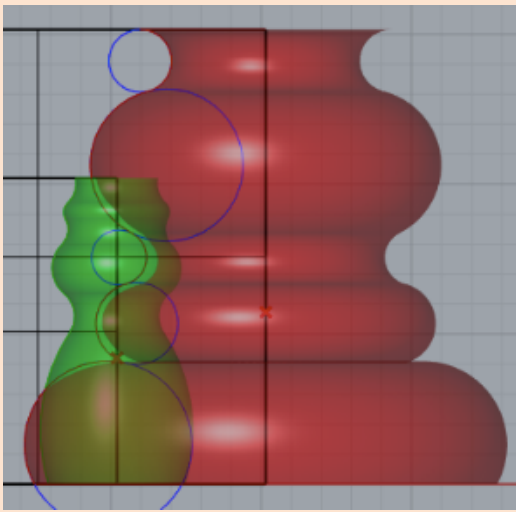
	Gene Area	{locus= 5 ,area = 15.15}
	Gene1	Insertion{scale=142.73 %, translation= 82.45 °, penetration=- 129.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene2	Insertion{scale=79.62 %, translation= 13.34 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene3	Subtract{scale=53.36 %, translation=- 15.11 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene4	Insertion{scale=32.27 %, translation= 20.38 °, penetration=- 0.05 %, pregnancy= 50.00 %}
	Gene5	Insertion{scale=147.92 %, translation= 27.21 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 80.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

O Quadro 73 apresenta um filho (Filho4) gerado partir da operação de cruzamento da forma seminal com as mutações (embalagem de 400ml). Os genes que compõe o cromossomo da geratriz correspondem à: GeneArea, que estabelece o número de arcos tangentes e a altura do objeto; Gene1, responsável pelos atributos do primeiro arco e orientação da curva para a direita; Gene2, responsável pelos atributos do segundo arco e orientação da curva para a esquerda; Gene3, responsável pelos atributos do terceiro arco e orientação da curva para a direita; o Gene4, responsável pelos atributos do quarto arco e orientação da curva para a esquerda; o Gene5, responsável pelos atributos do quinto arco e orientação da curva para a direita; e o Gene6, responsável pelos atributos do sexto arco e orientação da curva para a direita.

Quadro 74: Cruzamento (Embalagem de 700ml) Filho4

Filho 4

	Gene Area	{locus= 5 ,area = 15.15}
	Gene1	Insertion{scale=147.20 %, translation= 82.45 °, penetration=- 129.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene2	Insertion{scale=72.24 %, translation= 13.34 °, penetration= 0.15 %, pregnancy= 100.00 %}
	Gene3	Subtract{scale=48.41 %, translation=- 15.11 °, penetration= 0.25 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene4	Insertion{scale=134.21 %, translation= 27.21 °, penetration= 0.00 %, pregnancy= 80.00 %}
	Gene5	Subtract{scale=55.12 %, translation=- 14.18 °, penetration= 0.03 %, pregnancy= 50.00 %}

Fonte: Desenvolvido pela Autora

Este trabalho foi realizado com o apoio da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior.