



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

ROBERTO CESAR CAVALCANTE VIEIRA

**REPRODUÇÃO E MANIPULAÇÃO DE
PERSONAGENS VIRTUAIS**

FORTALEZA, CEARÁ

2012

ROBERTO CESAR CAVALCANTE VIEIRA

**REPRODUÇÃO E MANIPULAÇÃO DE
PERSONAGENS VIRTUAIS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em
Ciência da Computação da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do título de Doutor em Ciência da Computação.

Área de concentração: Computação Gráfica

Orientador: Creto Augusto Vidal

Coorientador: Joaquim Bento Cavalcante Neto

FORTALEZA, CEARÁ

2012

A000z Vieira, Roberto Cesar Cavalcante.
 Reprodução e Manipulação de Personagens Virtuais
 / Roberto Cesar Cavalcante Vieira. – Fortaleza, 2012.
 173p.;il.
 Orientador: Prof. Dr. Creto Augusto Vidal
 Coorientador: Prof. Dr. Joaquim Bento Cavalcante
 Neto
 Tese (Doutorado em Computação) - Universidade Fe-
 deral do Ceará, Centro de Ciências.
 1. Modelagem de personagens virtuais 2. Herança
 genética 3. Reprodução simulada I. Universidade Fede-
 ral do Ceará, Centro de Ciências.

CDD:000.0

ROBERTO CESAR CAVALCANTE VIEIRA

**REPRODUÇÃO E MANIPULAÇÃO DE
PERSONAGENS VIRTUAIS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Ciência da Computação da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

Aprovada em: --/--/----

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Creto Augusto Vidal
Universidade Federal do Ceará - UFC
Orientador

Prof. Dr. Joaquim Bento Cavalcante Neto
Universidade Federal do Ceará - UFC
Coorientador

Profa. Dra. Emanuele Marques dos Santos
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos
Nunes Marques
Universidade de São Paulo - USP

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho, gostaria de expressar meu sentimento de gratidão: primeiramente, a Deus pelo privilégio e por ter me conduzido ao aprofundamento de meus estudos e ao programa de doutorado; a meus pais, Henrique Cesar Pires Vieira e Ana Regina Cavalcante Vieira, aos quais dedico este trabalho, pelo amplo suporte e incentivo, em todas as fases de minha vida acadêmica; dedico também à minha avó Odalea Caldeira Cavalcante, que nos deixou no dia 09/11/2011, a quem esperava que estivesse presente neste momento e que estaria orgulhosa por esta conclusão; a todos os familiares, em especial aos meus irmãos Fabio e Mariana, pela união, por serem exemplo e fazerem parte da base e suporte maior da minha vida, que é a família; a meus orientadores, Creto Vidal e Joaquim Bento, pela confiança, paciência, apoio e conhecimentos transmitidos, desde o meu ingresso no programa; à família CRAb, por ter tornado nosso grupo mais do que um ambiente de trabalho/pesquisa; a meus amigos por todos os momentos de descontração, apoio e compreensão pela ausência em alguns momentos; e, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Man’s mind stretched to a new
idea never goes back to its original
dimensions.”*

Oliver Wendell Holmes, Jr.

RESUMO

Muitas aplicações de realidade virtual e jogos necessitam de um grande número de personagens virtuais. Algumas dessas aplicações requerem, além da quantidade, a simulação de parentesco e evolução, não só de modelos de personagens humanos, mas também de diferentes tipos de animais, modelos caricaturados ou outras criaturas. Algumas aplicações também requerem interações entre populações isoladas, com características étnicas bem definidas. A identificação de características semelhantes entre os indivíduos de uma mesma família é fundamental para proporcionar maior realismo a muitos desses sistemas. A principal dificuldade nessas situações é gerar modelos automaticamente, em tempo real, que são fisicamente semelhantes a uma dada população ou família. Outra característica de realismo desejável nessas aplicações seria a possibilidade de variações automáticas do corpo por fatores epigenéticos e aplicação de expressões faciais à medida que o personagem interage com o ambiente. Nesses casos, a dificuldade reside em encontrar um sistema simples de adaptação de malha para criaturas com grandes diferenças na forma. Nesse trabalho, a reprodução de seres diploides é simulada para produzir modelos de personagens que herdaram características dos seus ancestrais, com a possibilidade de mapear todos os genes, identificando a origem de cada um deles, e aplicar variações corporais e expressões faciais aos novos modelos. Com o mesmo sistema de adaptação utilizado em todos os métodos é possível gerar caricaturas de personagens, inserindo uma atmosfera de humor à aplicação. Com esta solução é possível criar jogos interativos de evolução e simulação de vida, aplicações educativas de genética e muitas outras possibilidades. Ao contrário de técnicas de *morphing* e de outros enfoques existentes, no método aqui proposto, é possível que uma característica genética de um ancestral se manifeste somente depois de algumas gerações.

Palavras-Chave: Modelagem de personagens virtuais, Herança genética, Reprodução simulada

ABSTRACT

Many virtual reality applications and games need a large number of virtual characters. Some of these applications require, in addition to quantity, the simulation of kinship and evolution, not only of human character models but also of different types of animals, toon models or other creatures. Some applications also require interactions between isolated populations with well-defined ethnic characteristics. The identification of similar traits between individuals of the same family is crucial to providing increased realism to many of these systems. The main difficulty in these situations is to generate models automatically, in real time, which are physically similar to a given population or family. Other realistic desirable features are the automatic body variations due to epigenetic factors and the application of facial expressions as the character interacts with the environment. In those cases, the difficulty lies in finding a simple mesh adaptation system for different creatures with big differences in shape. In this work, the reproduction of diploid beings is mimicked to produce character models that inherit genetic characteristics from their ancestors, with the possibility to map all genes identifying the origin of each gene. Unlike morphing techniques and other existing approaches, in our method, it is possible for a genetic characteristic from an ancestor to be manifested only after a few generations. After character generation, it is possible to apply custom body variations and facial expressions to the new models. With the same adaptation system used in all methods, it is possible to generate caricatures of characters, inserting a comic atmosphere to the application. With this solution it is possible to create interactive evolution and life-simulation games, genetics educational applications, and many other possibilities.

Keywords: Virtual characters modeling, Genetic inheritance, Simulated reproduction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Personagens virtuais utilizados no jogo Spore – http://eu.spore.com/ . . .	26
Figura 1.2	Personagens virtuais utilizados no jogo The Sims – http://thesims.com/ . . .	27
Figura 2.1	<i>Landmarks</i> faciais (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).	29
Figura 2.2	Tipos de medidas antropométricas (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).	30
Figura 2.3	Avatares gerados com o sistema criado por De Carlo (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).	31
Figura 2.4	Sistema de influência de medidas utilizado por De Carlo (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).	31
Figura 2.5	Modelo base construído com superfície B-Spline.	31
Figura 2.6	Modelo de camadas anatômicas utilizado para animação (KAHLER et al., 2002).	32
Figura 2.7	Modelo com malha triangular, simulando o processo de crescimento (KAHLER et al., 2002).	32
Figura 2.8	Animação do modelo com diferentes idades (KAHLER et al., 2002).	33
Figura 2.9	Processo utilizado por Blanz e Vetter para a geração de novos modelos (BLANZ; VETTER, 1999).	33
Figura 2.10	Alguns resultados da combinação dos modelos (BLANZ; VETTER, 1999).	34
Figura 2.11	Sistema de parametrização gerando modelos a partir da combinação de outros (PRAUN; SWELDENS; SCHRODER, 2001).	34

Figura 2.12	Combinação de duas faces (PRAUN; SWELDENS; SCHRODER, 2001).	35
Figura 2.13	Combinação de modelos de diferentes espécies. (a) 50% Humano, 25% Caval o e 25% Vaca; (b) 25% Humano, 50% Vaca e 25% Caval o; (c) 25% Hu mano, 25% Vaca e 50% Caval o (PRAUN; SWELDENS; SCHRODER, 2001).	35
Figura 2.14	Construção do modelo completo a partir de outros obtidos por Scanner 3D (ALLEN; CURLESS; POPOVIC, 2003).	36
Figura 2.15	Correção de malhas. (a) Modelo base, (b) e (c) Correção do modelo obtido por Scanner 3D para geração de outros modelos por <i>morphing</i> (ALLEN; CURLESS; POPOVIC, 2003).	36
Figura 2.16	Variação de peso e altura a partir de um modelo original (ALLEN; CURLESS; POPOVIC, 2003).	36
Figura 2.17	Processo utilizado por Seo e Thalmann para a geração de novos modelos.	37
Figura 2.18	Variação de peso e altura a partir de um modelo original (SEO; THALMANN, 2003).	37
Figura 2.19	Deformação baseada em splines e distância radial dos vértices da su perfície (KASAP; MAGNENAT-THALMANN, 2008).	38
Figura 2.20	Alguns resultados obtidos por (KASAP; MAGNENAT-THALMANN, 2008).	38
Figura 2.21	Faces utilizadas para a simulação (HANCOCK; FROWD, 1999).	39
Figura 2.22	Faces resultantes da combinação das fotos iniciais com seus respectivos pesos (HANCOCK; FROWD, 1999).	39
Figura 2.23	Alguns resultados, com a geração de rugas e poros (GOLOVINSKIY et al., 2006).	40
Figura 2.24	Modelagem a partir de imagens frontal e lateral (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE NETO, 2008a).	41

Figura 2.25 Alguns resultados obtidos pelo processo reprodutivo (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2008a).	41
Figura 2.26 Isolamento de regiões da face (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2008a).	42
Figura 2.27 Diagrama de técnicas de geração de expressões (NOH; NEUMANN, 1998).	42
Figura 2.28 Método de transferência de expressões utilizado por (BLANZ, 2006). . . .	43
Figura 2.29 Transferência de expressões por morphing utilizado por (BUI et al., 2003).	44
Figura 2.30 Modelo com camadas anatômicas utilizado por (KAHLER et al., 2002). . .	44
Figura 2.31 Resultados de aplicação de expressões obtidos por (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000).	45
Figura 2.32 Método de deformação utilizado por (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000).	45
Figura 2.33 Definição de pontos a serem movidos (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000).	45
Figura 2.34 Personagem virtual recebendo expressões (NOH; NEUMANN, 2001).	46
Figura 2.35 Sistema de clonagem de expressões (NOH; NEUMANN, 2001).	46
Figura 2.36 Resultados obtidos por (CHIANG; LIAO; LI, 2004), com a utilização de padrões artísticos de caricaturas.	47
Figura 2.37 Transformações possíveis com o sistema de morphing (BLANZ; VETTER, 1999).	48
Figura 2.38 Resultados obtidos por (LIU et al., 2009) e pelo método de <i>morphing</i> tradicional (última linha)	49
Figura 3.1 Ilustração de um cromossomo isolado.	52

Figura 3.2	Distribuição de genes em um cromossomo.	53
Figura 3.3	Cruzamento entre <i>Drosophilas</i>	53
Figura 3.4	Curva normal. (BEIGUELMAN, 2008)	55
Figura 3.5	Histograma da distribuição de uma amostra de 100 secundaristas brasileiros do sexo masculino segundo a estatura medida em centímetros. Ao histograma foi sobreposta uma curva normal ajustada aos dados.	56
Figura 3.6	Etapas do processo de divisão celular meiótico.	57
Figura 3.7	<i>Crossover</i> com 2 (a) e com 1 (b) pontos de permuta de material genético.	57
Figura 3.8	Ilustração de possíveis agrupamentos de cromossomos possibilitados pela segregação independente.	58
Figura 3.9	Exemplo de dominância incompleta.	59
Figura 3.10	Cor da pele tem distribuição contínua.	60
Figura 3.11	Exemplo de herança quantitativa.	60
Figura 3.12	<i>Landmarks</i> craniofaciais.	61
Figura 3.13	Medidas craniofaciais.	61
Figura 3.14	Alguns <i>landmarks</i> faciais.	63
Figura 3.15	Medidas baseadas em <i>landmarks</i>	63
Figura 3.16	Alguns <i>landmarks</i> antropométricos e medidas corporais.	64
Figura 3.17	Sistema de deformação por zonas de influência. (a) Sistema proposto. (b) Sistema desenvolvido por (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000)	65

Figura 3.18	Aplicação de zonas de influência, por translação.	66
Figura 3.19	Alteração de medida do nariz, por translação. (a) Antes da aplicação. (b) Após a aplicação.	66
Figura 3.20	Deformação do queixo por translação. (a) Posição inicial (t_0). (b) Translação por passo único. (c) Translação gradual.	67
Figura 3.21	Alteração de medida do nariz por escala. (a) Antes da aplicação. (b) Após a aplicação.	68
Figura 3.22	Alteração de medida da boca por escala. (a) Antes da aplicação. (b) Após a aplicação.	68
Figura 3.23	Aplicação de zonas de influência por escala.	69
Figura 3.24	Escala do nariz. (a) Raio inicial (t_0). (b) Escala por passo único. (c) Escala gradual.	69
Figura 3.25	Zonas de influências móveis.	70
Figura 3.26	Otimização no sistema de deformação.	70
Figura 3.27	Aplicação de translação, na região dos ombros.	71
Figura 3.28	Aplicação de escala, na região do quadril.	71
Figura 3.29	Seleção de vértices para isolamento de regiões.	72
Figura 3.30	Aplicação de uma deformação por zona de influência cilíndrica.	72
Figura 3.31	Alguns resultados na deformação da perna.	73
Figura 4.1	Árvore genealógica simulando uma família de gatos.	75

Figura 4.2	Etapas da meiose. (a) Duplicação de cromossomo e <i>crossover</i> , (b) simulação das metafase I e (d) metafase II.	78
Figura 4.3	<i>Crossover</i>	79
Figura 4.4	Configuração do sistema.	81
Figura 4.5	Configuração dos progenitores iniciais.	82
Figura 4.6	Simulação de reprodução.	82
Figura 4.7	Distribuição de características em cromossomos.	83
Figura 4.8	Meiose aplicada aos modelos masculino e feminino.	83
Figura 4.9	Fecundação.	84
Figura 4.10	Determinação da cor da pele em modelos humanos.	85
Figura 4.11	Determinação da cor dos olhos em modelos humanos.	85
Figura 4.12	Adaptação de gênero aos modelos.	86
Figura 4.13	Processo de geração do descendente.	87
Figura 4.14	Combinação de uma das medidas do nariz. M1 e M2 são medidas oriundas dos pais, juntamente com os pesos K and K'. M3 é a medida resultante.	88
Figura 4.15	Processo de fecundação completa.	88
Figura 4.16	Personagens utilizados (Humano, Gato, Criatura I e Criatura II.	89
Figura 4.17	Modelos médios masculinos e femininos calculados a partir dos progenitores iniciais.	89

Figura 4.18	Texturas da pele e olhos, com possíveis combinações de genes. (a) Textura da pele do modelo Gato. (b) Textura da pele da Criatura I. (c) Textura da pele da Criatura II. (d) Textura dos olhos do Gato, Criatura I e Criatura II.	90
Figura 4.19	Medidas da face utilizadas nos estudos dos modelos humanos e medidas da face e corpo utilizadas no estudo do gato.	91
Figura 4.20	Medidas utilizadas nos modelos da Criatura I e Criatura II.	91
Figura 4.21	Árvore genealógica de modelos humanos com diferentes etnias.	93
Figura 4.22	Árvore genealógica de modelos humanos caricaturados.	95
Figura 4.23	Árvore genealógica de modelos Gato.	97
Figura 4.24	Progenitores Iniciais.	98
Figura 4.25	Modelo Estudado.	98
Figura 4.26	Modelo Estudado.	100
Figura 4.27	Árvore genealógica de modelos Criatura I.	101
Figura 4.28	Progenitores Iniciais.	102
Figura 4.29	Modelo Estudado.	103
Figura 4.30	Árvore genealógica de modelos Criatura II.	105
Figura 4.31	Progenitores Iniciais.	106
Figura 4.32	Modelo Estudado.	106
Figura 5.1	Alteração de medida da cintura com deformação por escalonamento. ..	111

Figura 5.2	Alteração de medida da cintura com deformação por translação.	111
Figura 5.3	Visão frontal de manipulações de medidas corporais.	112
Figura 5.4	Visão lateral de manipulações de medidas corporais.	112
Figura 5.5	Método de transferência de medidas corporais. (a) Modelo base com seus <i>landmarks</i> . (b) Medidas antropométricas. (c) Regras de deformação definidas no modelo base. (d) <i>Landmarks</i> do modelo a ser alterado. (e) Aplicação de regras de deformação no novo modelo.	112
Figura 5.6	Modelo para transferência de manipulação de medidas.	113
Figura 5.7	Transferência de medidas. (a) Identificação de <i>landmarks</i> . (b) Aplicação de deformação por escala. (c) Novas medidas aplicadas ao modelo.	113
Figura 5.8	Aplicação de deformações nos braços e pernas.	114
Figura 5.9	Transferência de medidas. (a) Aplicação de deformações na região do abdômen. (b) Aplicação de deformações na região do abdômen, braços e pernas.	114
Figura 5.10	Manipulação corporal aplicado a personagens reproduzidos. (a) Cálculo do modelo médio a partir dos progenitores iniciais. (b) Definição das regras de manipulação, utilizando o modelo médio. (c) Simulação do processo reprodutivo. (d) Aplicação das manipulações corporais nos novos modelos.	115
Figura 5.11	Passos para adaptação por fatores epigenéticos.	116
Figura 5.12	Modelos médios. (a) Gato. (b) Criatura I.	116
Figura 5.13	Regra de adaptação aplicado ao modelo gato.	117
Figura 5.14	Regra de adaptação aplicado ao modelo Criatura I.	118

Figura 5.15 Aplicação de regras de manipulação corporal nos modelos progenitores iniciais (a) a (e) e terceira geração da árvore genealógica (modelos (l) a (p)).	119
Figura 5.16 Aplicação de regras de manipulação corporal nos modelos progenitores iniciais (a) a (f) e terceira geração da árvore genealógica (modelos (o) a (t)).	120
Figura 5.17 Processo geral de transferência de expressões faciais. (a) <i>Landmarks</i> do modelo humano. (b) Medidas do modelo base. (c) Geração de expressões e armazenamento de proporções do modelo base. (d) Expressões aplicadas ao segundo modelo, utilizando as proporções do modelo base.	121
Figura 5.18 Geração de expressões utilizando o sistema de deformação por zonas de influência.	122
Figura 5.19 Modelo base e <i>landmarks</i> utilizados nos estudos de casos.	122
Figura 5.20 Algumas medidas na face neutra.	123
Figura 5.21 Definição do raio de algumas esferas de influência.	123
Figura 5.22 Exemplo de aplicação de deformações e armazenamento de proporções de medidas.	123
Figura 5.23 Modelos utilizados nos estudos de casos.	124
Figura 5.24 Identificação de <i>landmarks</i> antropométricos nos novos modelos.	124
Figura 5.25 Medidas do novo modelo sem expressões.	125
Figura 5.26 Aplicação das regras de definição de raios.	125
Figura 5.27 Exemplo de proporções do modelo base e expressões transferidas para o novo modelo.	126

Figura 5.28 Aplicação de proporções no modelo Gato.	126
Figura 5.29 Expressões aplicadas no modelo base.	127
Figura 5.30 Expressões transferidas ao modelo <i>Cartoon</i>	127
Figura 5.31 Expressões transferidas ao modelo Gato.	127
Figura 5.32 Expressões transferidas ao modelo Minotauro.	127
Figura 5.33 Expressões transferidas ao modelo Ogro.	128
Figura 5.34 Delimitação de <i>landmarks</i> faciais.	128
Figura 5.35 Diferenças na disposição da geometria da boca dos modelos base e Gato.	129
Figura 5.36 Assimetria gerada por seleção imprecisa de <i>landmarks</i>	129
Figura 5.37 Aplicação de expressões faciais em personagens reproduzidos. (a) Cálculo do modelo médio a partir dos progenitores iniciais. (b) Definição das regras de proporção que definem expressões, utilizando o modelo médio. (c) Simulação do processo reprodutivo. (d) Aplicação de expressões nos novos modelos.	130
Figura 5.38 Passos para a aplicação de expressões.	131
Figura 5.39 Regras utilizadas no estudo de caso do modelo gato.	132
Figura 5.40 Regras utilizadas no estudo de caso Criatura I.	132
Figura 5.41 Aplicação de expressões no estudo de caso do modelo gato (Modelos (l) a (p) da Figura 4.23).	133
Figura 5.42 Gráfico mostrando o deslocamento da esfera de influência em cada modelo, comparado ao modelo médio. (a), (b), (c) e (d) são as regras indicadas na Figura 5.39.	134

Figura 5.43 Aplicação de expressões no estudo de caso do modelo Criatura I (Modelos (o) a (t) da Figura 4.27).	135
Figura 5.44 Gráfico mostrando o deslocamento da esfera de influência em cada modelo, comparado ao modelo médio. (a), (b), (c) e (d) são as regras indicadas na Figura 5.40.	137
Figura 5.45 Passos para a geração de caricaturas. (a) Modelo de referência. (b) Identificação de medidas. (c) Modelo estudado. (d) Medidas comparadas às medidas do modelo de referência. (e) Aplicação de deformações. (f) Caricatura. (g) Aplicação de assimetria. (h) Aplicação de expressões.	137
Figura 5.46 Exemplos de deformação aleatória por translação.	138
Figura 5.47 Exemplos de deformação aleatória por escala.	138
Figura 5.48 Modelo de referência masculino.	139
Figura 5.49 Modelo de referência feminino.	139
Figura 5.50 Modelo a ser caricaturado.	140
Figura 5.51 Identificação de <i>landmarks</i> faciais e medidas.	140
Figura 5.52 Comparação de medidas do modelo selecionado com o modelo de referência.	140
Figura 5.53 Deformação por translação de zonas de influência.	141
Figura 5.54 Deformação por escala de zonas de influência.	142
Figura 5.55 Possíveis combinações de deformação.	142
Figura 5.56 Alguns resultados possíveis.	143
Figura 5.57 Comparação das proporções de medidas antes e depois do processo de	

caricaturização.	143
Figura 5.58 Aplicação de assimetria. (a) Pontos de aplicação de assimetria e (b) aplicação da perturbação.	144
Figura 5.59 Alguns resultados possíveis após a aplicação de assimetria.	144
Figura 5.60 Algumas expressões com deformação na região dos olhos.	145
Figura 5.61 Expressões com combinação de deformações.	146
Figura 5.62 Resultados do Caso C01. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.	148
Figura 5.63 Resultados do Caso C02. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.	148
Figura 5.64 Resultados do Caso C03. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.	149
Figura 5.65 Resultados do Caso C04. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.	149
Figura 5.66 Resultados do Caso C05. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.	150
Figura 5.67 Resultados do Caso C06. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.	150
Figura 6.1 Reprodução e manipulação de personagens virtuais.	154
Figura 6.2 (a) Fotografias selecionadas e modelos 3D paternos. (b) Modelos da filha	

gerado a partir dos modelos paternos na idade de referência. (c) Modelo selecionado, na idade de desaparecimento. (d) Modelos paternos na idade alvo e modelo resultante.	155
Figura A.1 Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.	161
Figura A.2 Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.	162
Figura A.3 Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.	163
Figura A.4 Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.	164
Figura A.5 Medidas utilizadas na simulação do modelo Gato.	164
Figura A.6 Medidas utilizadas na simulação do modelo Gato.	165
Figura A.7 Modelos resultantes da simulação Gato, ampliados.	166
Figura A.8 Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I.	167
Figura A.9 Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I.	168
Figura A.10 Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I.	169
Figura A.11 Modelos resultantes da simulação Criatura I, ampliados.	170
Figura A.12 Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura II.	171
Figura A.13 Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura II.	172
Figura A.14 Modelos resultantes da simulação Criatura II, ampliados.	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	% de genes herdados dos modelos iniciais na simulação de gatos.	96
Tabela 4.2	Mapeamento genético do modelo Gato (l).	99
Tabela 4.3	Mapeamento genético do modelo Gato (t).	100
Tabela 4.4	% de genes herdados dos modelos iniciais na simulação da Criatura I. .	102
Tabela 4.5	Mapeamento genético modelo Criatura I (p).	103
Tabela 4.6	% de genes herdados dos modelos iniciais na simulação da Criatura II. .	104
Tabela 4.7	Mapeamento genético modelo Criatura II (m).	107
Tabela 4.8	Medidas de tempo, em milisegundos (Pentium Dual Core, 1.46GHz, 2GB Ram).	108
Tabela 5.1	Adaptação de modelos gato, com acréscimo de 2,0x na escala.	119
Tabela 5.2	Adaptação de modelos Criatura I, com acréscimo de 2,5x na escala. . .	120
Tabela 5.3	Regras aplicadas a alguns estudos de casos de modelos gato.	134
Tabela 5.4	Regras aplicadas a alguns estudos de casos de modelos Criatura I.	136
Tabela 5.5	Proporções das medidas do modelo selecionado, em relação às medidas do modelo de referência.	141
Tabela 5.6	Proporções das medidas dos estudos de casos em relação às medidas dos modelos de referência.	147

Tabela 5.7	Avaliação dos resultados gerados pelo modelo proposto - M1, método MR-based (LIU et al., 2009) - M2 e método tradicional (LIU et al., 2009) - M3.	147
------------	--	-----

SUMÁRIO

1	Introdução	26
1.1	Motivação	26
1.2	Objetivo	27
1.3	Estrutura	28
2	Trabalhos Relacionados	29
2.1	Introdução	29
2.2	Geração de Personagens Virtuais	29
2.2.1	Geração baseada em antropometria	29
2.2.2	Geração baseada em <i>morphing</i> 3D	33
2.2.3	Geração baseada em templates deformáveis	37
2.2.4	Geração baseada em algoritmos genéticos	39
2.2.5	Geração baseada em detalhamento de malha	40
2.2.6	Geração por simulação do processo reprodutivo	40
2.3	Manipulação de Personagens Virtuais	42
2.3.1	Geração de Expressões	42
2.3.2	Caricaturização de Personagens	47
2.4	Considerações Finais	50
3	Conceitos Básicos	51
3.1	Introdução	51
3.2	Reprodução de Seres Diploides	51
3.2.1	Armazenagem de informações genéticas	52
3.2.2	Geração de gametas de seres diploides	56
3.2.3	Fecundação	59
3.2.4	Influência Genética e do Ambiente na Aparência Física	61

3.3	Adaptação de Medidas de Personagens Virtuais.....	62
3.3.1	Antropometria	63
3.3.2	Manipulação de Medidas Faciais	64
3.3.3	Manipulação de Medidas Corporais	70
3.3.4	Considerações Finais	74
4	Reprodução de Personagens Virtuais.....	75
4.1	Introdução.....	75
4.2	Modelo Conceitual do Processo Reprodutivo de Seres Diploides	76
4.2.1	Identificação de Características Genéticas	76
4.2.2	Armazenamento de Informações Genéticas	76
4.2.3	Geração de Gametas	77
4.2.4	Fecundação	80
4.3	Implementação da Reprodução de Personagens	80
4.3.1	Arquitetura para a reprodução dos personagens	80
4.3.2	Simulação de geração de gametas	82
4.3.3	Combinação de características genéticas.....	84
4.4	Estudos de Casos	89
4.4.1	Definição dos cromossomos e geração de gametas.....	89
4.4.2	Geração da prole	92
4.4.3	Análise de resultados	92
4.5	Considerações Finais	108
5	Manipulação de Personagens Virtuais	109
5.1	Introdução.....	109
5.2	Manipulação de Medidas Corporais por Fatores Epigenéticos	109
5.2.1	Fatores Epigenéticos	110
5.2.2	Conceito de Manipulação de Medidas.....	110
5.2.3	Manipulação de Medidas em Personagens Reproduzidos	115
5.3	Geração de Expressões	121
5.3.1	Clone de Expressões.....	122

5.3.2	Aplicação de expressões em personagens reproduzidos.....	130
5.4	Caricaturização de Personagens Virtuais	137
5.4.1	Modelo para caricaturização de personagens	138
5.4.2	Estudos de Casos	145
5.5	Considerações Finais	151
6	Considerações Finais	153
6.1	Conclusões	153
6.2	Principais Contribuições	154
6.3	Trabalhos Futuros	156
	Referências	157
	Apêndice A – Características Utilizadas nas Simulações do Processo Re- produtivo	161
A.1	Medidas utilizadas nas simulação em faces humanas e modelo Gato	161
A.2	Medidas utilizadas na simulação do modelo Gato.....	164
A.3	Resultados da simulação do modelo Gato	166
A.4	Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I	167
A.5	Resultados da simulação do modelo Criatura I.....	170
A.6	Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura II	171
A.7	Resultados da simulação do modelo Criatura II	173

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O grande desenvolvimento da computação gráfica e da realidade virtual nos últimos anos contribuiu bastante para o surgimento de várias aplicações nas áreas de entretenimento, animação, educação, treinamento, simulação, etc. O avanço dessas tecnologias exige cada vez mais realismo e interatividade em seus ambientes virtuais, além de rapidez no seu desenvolvimento. Um dos grandes problemas atuais na construção dessas aplicações consiste em tornar algumas tarefas automáticas ou com menos interferência humana, reduzindo o tempo e o custo de desenvolvimento. Uma dessas tarefas que exige muito tempo e talento artístico é a concepção e modelagem de personagens virtuais. Em determinadas aplicações, é necessário uma grande quantidade de tais entidades. Seja em animações, jogos ou qualquer aplicação de computação gráfica, é interessante que cada uma dessas entidades seja dotada de uma identidade física própria, para que possam ser diferenciadas dos demais modelos. Além da necessidade de gerar variabilidade de modelos, em alguns casos é necessário simular relações de parentesco. Jogos de evolução (por exemplo: *Spore*: Figura 1.1), sistemas que simulam a vida cotidiana (por exemplo: *The Sims*: Figura 1.2), ou até mesmo jogos que simulam populações isoladas ou tribos que sofrem migração, necessitam de um sistema que permita a simulação de transmissão de características físicas de forma automática, para que os mesmos proporcionem maior grau de realismo ao usuário.



Figura 1.1: Personagens virtuais utilizados no jogo Spore – <http://eu.spore.com/>.

Além da identificação de características físicas herdadas, também existem fatores que podem transformar o corpo de um indivíduo, os chamados fatores epigenéticos. O ga-

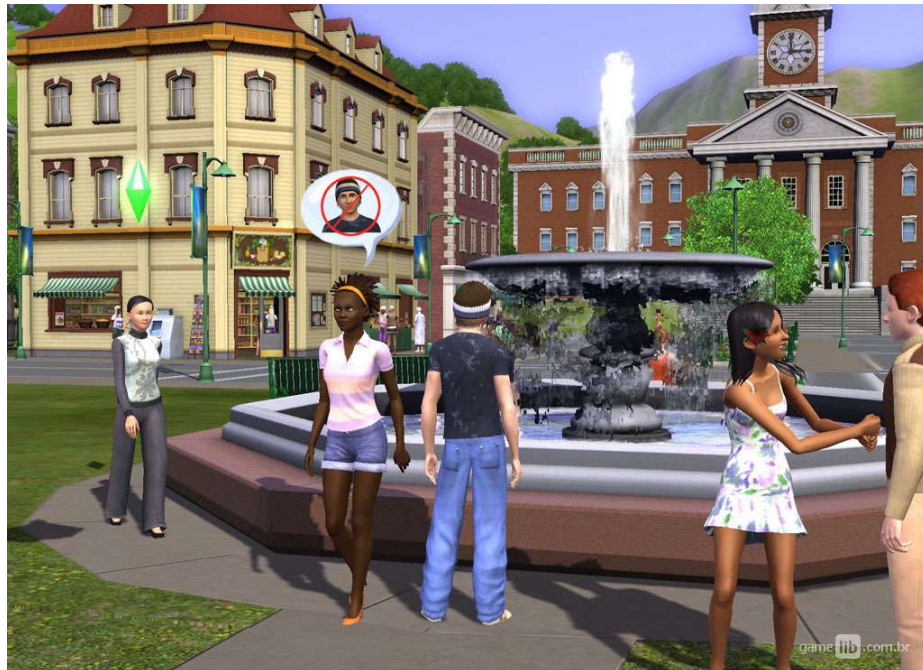


Figura 1.2: Personagens virtuais utilizados no jogo The Sims – <http://thesims.com/>.

nho ou a perda de peso, devido a dietas distintas ou alterações na massa muscular, são exemplos de manipulações necessárias nos sistemas mencionados. Muitas das aplicações atuais constroem modelos distintos, apenas mudando texturas e acessórios ou aplicando transformações globais de escala. Essa forma de gerar personagens virtuais variados é muito pobre e deixa o usuário com a sensação de estar em um ambiente com modelos sem identidade própria, por serem modelos muito semelhantes. Uma alternativa para ter modelos fisicamente distintos é armazenar um grande banco de dados de formas diferentes do corpo, mas isso requer um grande esforço de modelagem e talento artístico. Adaptações momentâneas de malha, como a geração de expressões faciais de criaturas diversas, também exigem um sistema simples e genérico que possa ser aplicado em tempo real. Nesses casos, a dificuldade reside em encontrar um sistema simples adaptação de malha para criaturas com grandes diferenças na forma. Além disso algumas aplicações podem demandar personagens com estilos diferentes, alguns mais sóbrios e outros com aspecto caricaturado.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a validação de um modelo baseado em genética, para a geração de personagens virtuais em que é possível observar a transmissão de características físicas, por gerações, com a possibilidade de mapear a origem de todos os genes herdados. O modelo é genérico, podendo ser aplicado a criaturas diversas, e permite manipulações posteriores, através de adaptações corporais por fatores epigenéticos, geração automática de expressões faciais e caricaturização dos personagens virtuais gerados.

1.3 Estrutura

Os capítulos restantes estão estruturados da seguinte maneira. No Capítulo 2, apresentam-se as propostas de solução encontradas na literatura, para a geração e manipulação de personagens virtuais. No Capítulo 3, é feita uma breve exposição dos conceitos básicos da biologia da reprodução de seres diploides e métodos de deformação de malhas utilizados na solução proposta neste trabalho. No Capítulo 4, é descrito o modelo reprodutivo conceitual, aplicado na simulação e a arquitetura do sistema que simula o processo reprodutivo dos personagens virtuais, exemplificando em estudos de casos diversos. No Capítulo 5, apresentam-se os sistemas de manipulação de medidas corporais por fatores epigenéticos, geração de expressões faciais e caricaturização de modelos. Finalmente, no Capítulo 6, apresentam-se as conclusões, principais contribuições e trabalhos futuros.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

2.1 Introdução

Em determinadas aplicações de realidade virtual e jogos, há necessidade de uma grande quantidade de personagens virtuais. Porém, a geração manual desses personagens exige muito tempo e talento artístico. No caso específico de personagens virtuais humanos, a complexidade da anatomia dificulta a geração de modelos realistas e naturais (NOH; NEUMANN, 1998). Neste capítulo, são apresentados os principais trabalhos que abordam a geração automática de personagens virtuais tridimensionais, visando, principalmente, a obtenção de diversidade. Os trabalhos estão agrupados de acordo com as seguintes técnicas utilizadas: técnicas baseadas em antropometria, técnicas de *morphing* 3D, técnicas baseadas em templates, técnicas de algoritmos genéticos, detalhamento de malhas e, por fim, a técnica de reprodução simulada.

2.2 Geração de Personagens Virtuais

2.2.1 Geração baseada em antropometria

Antropometria é a ciência que estuda as medidas do corpo humano. Para realizar medidas faciais, por exemplo, ela usa pontos bem definidos da face, chamados *landmarks* (Figuras 2.1 e 2.2).

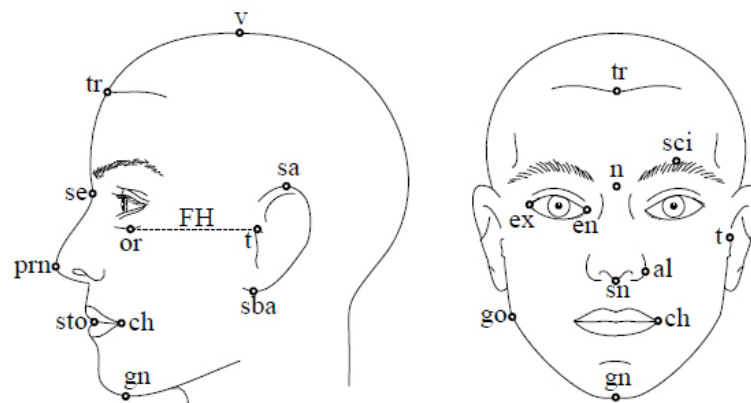


Figura 2.1: *Landmarks* faciais (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).

Os cinco tipos de medidas faciais definidos a partir dos *landmarks* mostrados na Figura 2.1 são:

- Menor distância entre dois *landmarks* (ex:en-ex da Figura 2.2);
- Distância axial entre dois *landmarks* (ex:v-tr da Figura 2.2);
- Distância geodésica entre dois *landmarks* (ex:ch-t da Figura 2.2);
- Ângulo de inclinação de um *landmark* em relação a um dos eixos de coordenadas (ex: inclinação da orelha em relação ao eixo vertical da Figura 2.2); e
- Ângulo entre retas definidas por *landmarks* (ex: ângulo do queixo da Figura 2.2).

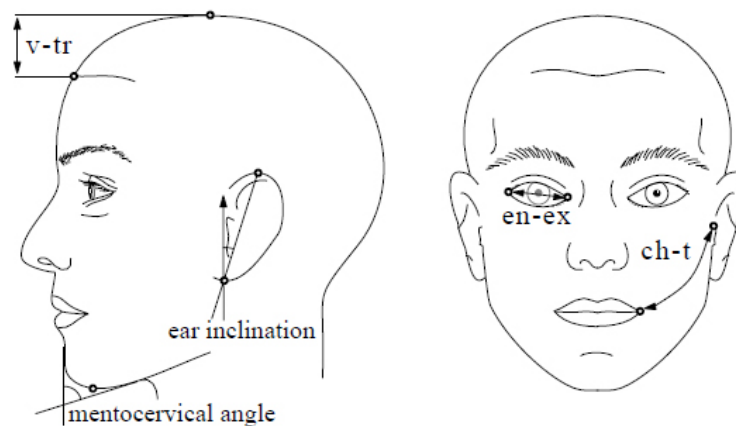


Figura 2.2: Tipos de medidas antropométricas (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).

Medidas faciais de indivíduos de diferentes regiões do mundo têm sido coletadas ao longo das últimas décadas. Essas medidas são armazenadas em bancos de dados que, coletivamente, fornecem as características predominantes de indivíduos de diferentes etnias, idades e sexos. Através da utilização de bases de dados como essas, podem-se simular as possíveis variações faciais em um modelo 3D. Algumas medidas iniciais também podem ser atribuídas a um modelo 3D, para que, com base nas estatísticas das proporções, as possíveis variações de medidas dependentes sejam analisadas.

Métodos baseados em antropometria normalmente utilizam os *landmarks* antropométricos, para modelar personagens e animar esses modelos. Alguns trabalhos utilizam informações antropométricas para validar seus modelos (BLANZ; VETTER, 1999).

Em 1998, DeCarlo e seus coautores (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998) descreveram um sistema que gera automaticamente modelos de faces (Figura 2.3) para a construção de avatares a serem utilizados em aplicações de realidade virtual. Esse trabalho foi um dos pioneiros na utilização de técnicas antropométricas para a geração de faces (NOH; NEUMANN, 1998), e serviu de inspiração para vários outros trabalhos. A metodologia consiste nos seguintes passos: 1) definição de um modelo base que respeite as medidas antropométricas estabelecidas; 2) geração de perturbações aleatórias nessas medidas, dentro de limites de variações definidos pelas estatísticas antropométricas. Com esses dois

passos, uma série enorme de variantes do modelo base pode ser gerada (Figura 2.3).



Figura 2.3: Avatares gerados com o sistema criado por De Carlo (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).

É importante observar que as medidas antropométricas não são independentes (Figura 2.4). Para uma determinada medida, existe um intervalo de possíveis medidas influenciadas pelas anteriores; por esse motivo, as características são geradas dentro de intervalos de proporção pré-definidos. Assim, por exemplo, com a definição da medida zy-zy mostrada na Figura 2.4, existem intervalos de proporção para as medidas eu-eu, t-t, ex-ex, n-sn e n-sto. Caso essas dependências não sejam respeitadas, o modelo gerado pode ser desfigurado considerando o espaço definido pela antropometria.

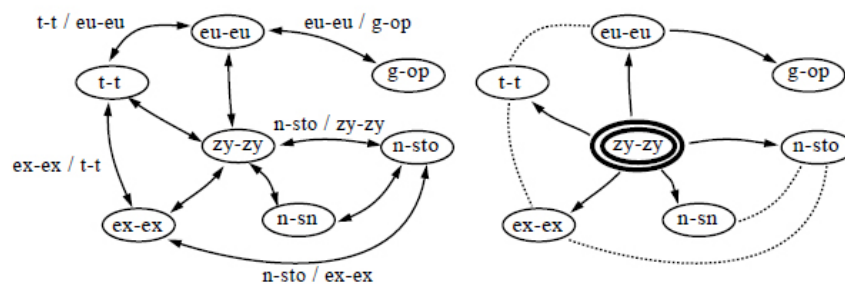


Figura 2.4: Sistema de influência de medidas utilizado por De Carlo (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).

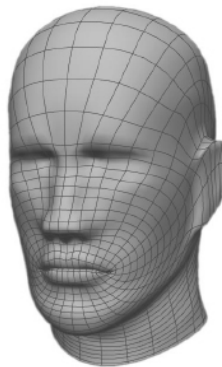


Figura 2.5: Modelo base construído com superfície B-Spline.

O modelo da Figura 2.5 foi usado como base para gerar as faces mostradas na Figura 2.3. Ele foi construído com uma única superfície B-Spline, partindo de uma forma cilíndrica aberta no topo e na base. Essas extremidades correspondem, respectivamente, à boca e ao pescoço. As medidas antropométricas e os *landmarks* descrevem a superfície biparamétrica $Q(u,v)$. A metodologia de DeCarlo permite gerar uma grande quantidade de avatares com aparências faciais distintas, porém os modelos gerados são bastante simplificados e são construídos de forma aleatória, não permitindo associações de hereditariedade.

Em 2002, Kähler e seus coautores (KAHLER et al., 2002) propuseram um modelo genérico com camadas anatômicas (pele, músculo e osso) associadas a *landmarks* antropométricos. Com um algoritmo que utiliza técnicas de deformação, é possível adaptar o modelo genérico a dados obtidos por escanerização 3D. Ao invés de gerar novos indivíduos a partir do modelo adaptado, o objetivo principal do trabalho é realizar animações em tempo real usando os músculos faciais e as propriedades de elasticidade da pele (Figura 2.6).

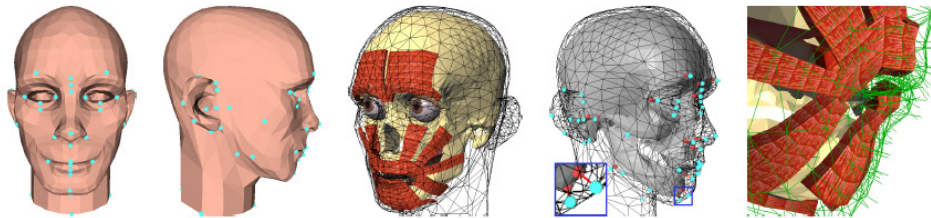


Figura 2.6: Modelo de camadas anatômicas utilizado para animação (KAHLER et al., 2002).

Um outro objetivo do trabalho foi o de simular as alterações faciais de um indivíduo em diferentes fases da vida. Para isso, foram usados métodos de adaptação e deformação em malhas triangulares (Figura 2.7) combinados com informações de medidas antropométricas de indivíduos de diferentes idades (Figura 2.8).

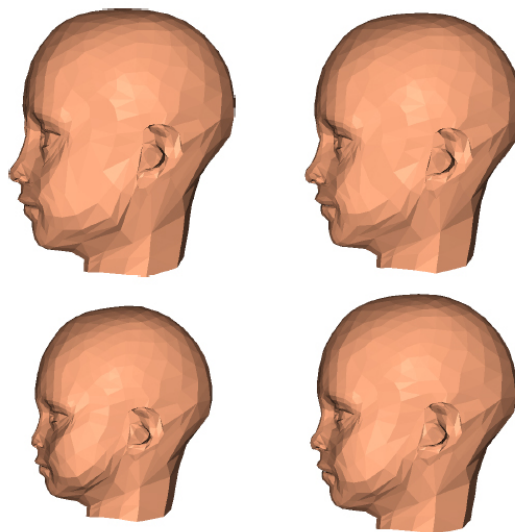


Figura 2.7: Modelo com malha triangular, simulando o processo de crescimento (KAHLER et al., 2002).



Figura 2.8: Animação do modelo com diferentes idades (KAHLER et al., 2002).

2.2.2 Geração baseada em *morphing* 3D

As técnicas de *morphing* 2D e 3D consistem em realizar metamorfoses entre duas imagens ou entre dois modelos 3D. Para isso, é necessário estabelecer correspondências entre os modelos, o que, muitas vezes, exige trabalho manual intenso e dificulta sua automatização. Em 1999, Blanz e Vetter (BLANZ; VETTER, 1999) desenvolveram um método para síntese de faces tridimensionais através de técnicas de *morphing*, a qual consiste em realizar metamorfoses entre modelos 3D, obtendo um modelo com aparência intermediária dos modelos originais (Figura 2.9). Os modelos originais são gerados a partir de fotografias, ou são obtidos por Scanner 3D para a geração de modelos baseados em malhas poligonais.

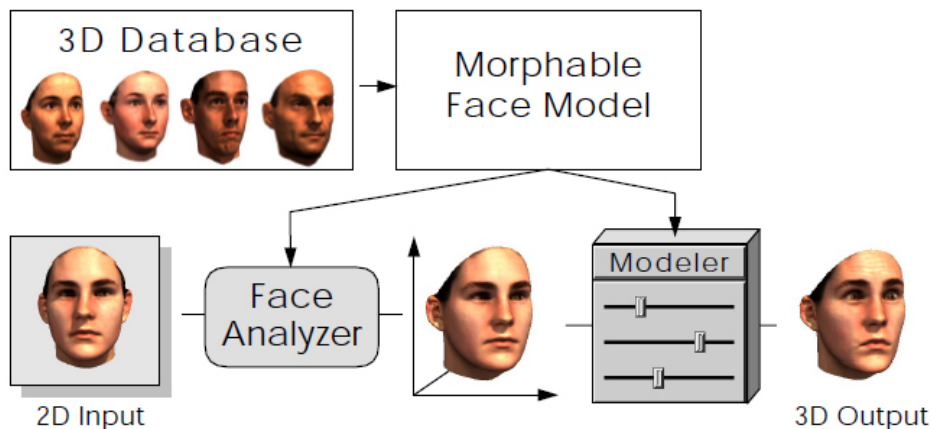


Figura 2.9: Processo utilizado por Blanz e Vetter para a geração de novos modelos (BLANZ; VETTER, 1999).

Na Figura 2.10, novas faces são obtidas, a partir de um conjunto de faces iniciais, por meio de interpolações lineares dos parâmetros que definem suas formas e das texturas que definem sua coloração. Os parâmetros e as estatísticas antropométricas são levadas em consideração. A correspondência precisa entre pontos (ponta do nariz, cantos do olho, etc.) é fundamental para a técnica de *morphing* e para a obtenção de modelos intermediários coerentes. Essa é uma das principais dificuldades do processo. Para demonstrar

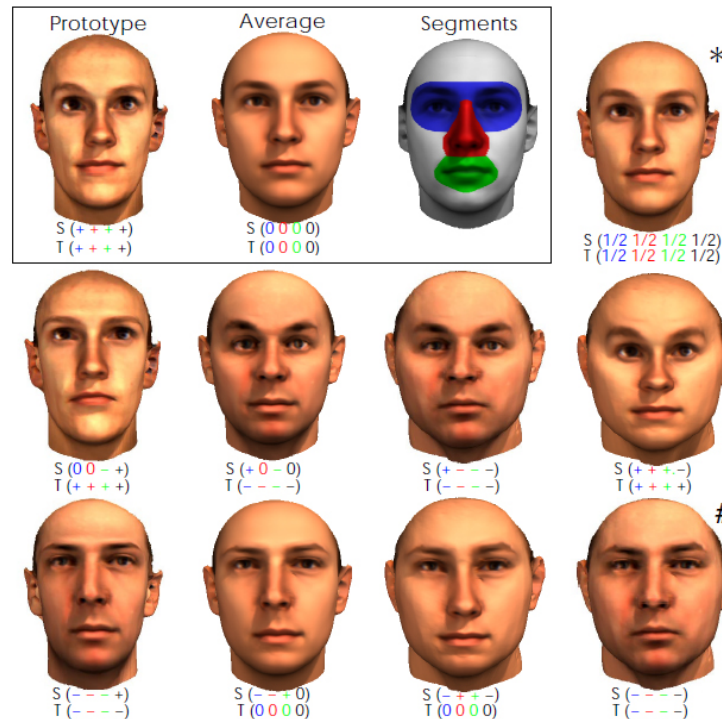


Figura 2.10: Alguns resultados da combinação dos modelos (BLANZ; VETTER, 1999).

sua técnica, Blanz e Vetter construíram uma base de dados com 200 faces obtidas por scanner 3D (100 faces masculinas e 100 faces femininas) utilizando uma representação cilíndrica, $r(h, \theta)$, com 512 ângulos e 512 curvas de nível. As cores de cada ponto também foram armazenadas em RGB ($R(h, \theta)$, $G(h, \theta)$, $B(h, \theta)$). Os modelos resultantes possuem aproximadamente 70.000 pontos. Por utilizar um grande volume de dados, o tempo médio de processamento para estabelecer as correspondências necessárias para gerar uma face a partir de uma imagem é de aproximadamente 50 minutos.

Em 2001, Praun e seus coautores (PRAUN; SWELDENS; SCHRODER, 2001) utilizaram uma técnica para estabelecer uma parametrização entre um grupo de modelos (Figura 2.11).

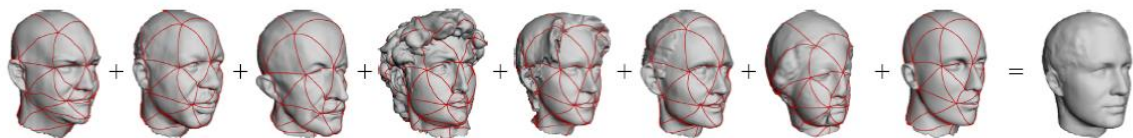


Figura 2.11: Sistema de parametrização gerando modelos a partir da combinação de outros (PRAUN; SWELDENS; SCHRODER, 2001).

Essa técnica permite estabelecer correspondências geométricas globais entre os modelos, para posteriormente combiná-los utilizando *morphing* (Figura 2.12), ou para transferir texturas de um modelo para outro.

Dado um domínio e um grupo de modelos com diferentes características, é traçada uma rede de curvas, topologicamente equivalentes às conexões do domínio base (Figura 2.13), em cada malha do conjunto. Para este método, não é necessário que os modelos sejam

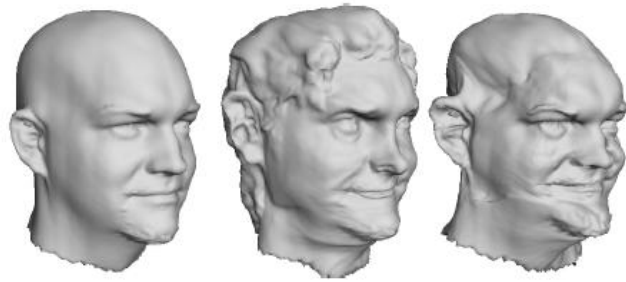


Figura 2.12: Combinação de duas faces (PRAUN; SWELDENS; SCHRODER, 2001).

parecidos geometricamente. Com a identificação das partes associadas a cada modelo, é possível combiná-los, mantendo as conexões das curvas de forma suave e coerente. Em seu trabalho, Praun, combinou malhas de modelos de animais de espécies diferentes (cavalo, vaca, humano), especificando porcentagens de influência no modelo resultante, obtendo malhas aproximadas a partir desses pesos (Figura 2.13).

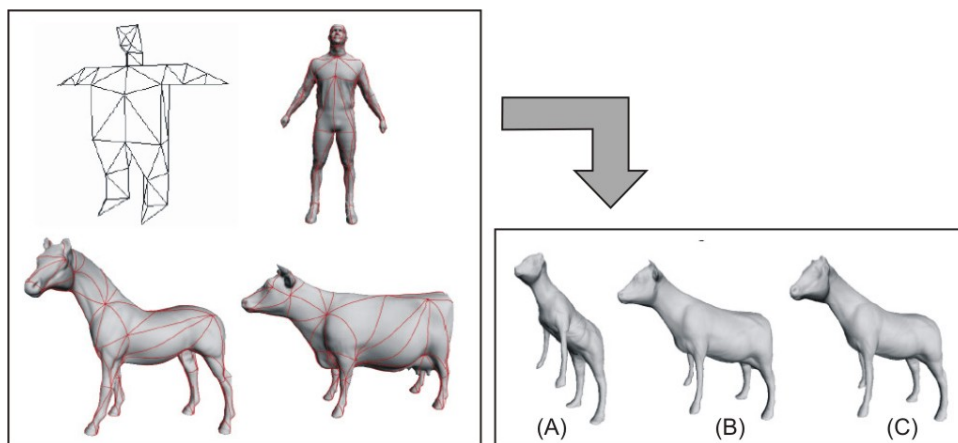


Figura 2.13: Combinação de modelos de diferentes espécies. (a) 50% Humano, 25% Cavalo e 25% Vaca; (b) 25% Humano, 50% Vaca e 25% Cavalo; (c) 25% Humano, 25% Vaca e 50% Cavalo (PRAUN; SWELDENS; SCHRODER, 2001).

Em 2003, Allen e seus coautores (ALLEN; CURLESS; POPOVIC, 2003), baseando-se no trabalho de Blanz e Vetter, expandiram a técnica para o corpo humano inteiro, utilizando parametrização. Os modelos escaneizados, utilizados no trabalho, foram obtidos a partir do Civilian American and European Surface Anthropometry Resource Project (CAESAR), que possui um banco de milhares de modelos de voluntários entre 18 e 45 anos dos Estados unidos e Europa. Foram utilizados modelos de 125 homens e 125 mulheres com variações de altura, peso e etnia, com malhas que possuem entre 250.000 e 350.000 triângulos com informações de cores por vértice. O uso de scanners 3D, às vezes, gera modelos incompletos, com imperfeições ou com ruídos. Esses problemas precisam ser corrigidos, o que requer grande esforço computacional (Figura 2.14).

Um outro fato complicador para a técnica de *morphing* é que os modelos do banco de dados, embora possuam a mesma estrutura, apresentam grandes variações no formato corporal e nas correspondências entre pontos (Figura 2.15).

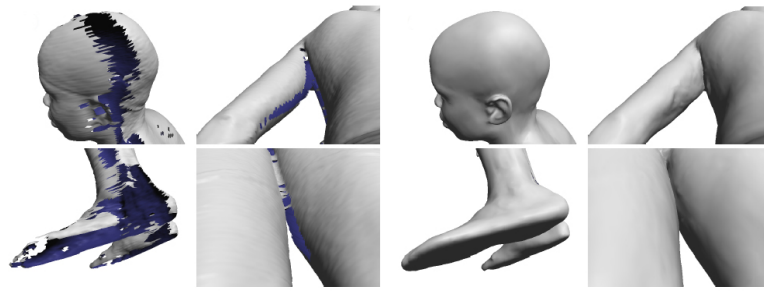


Figura 2.14: Construção do modelo completo a partir de outros obtidos por Scanner 3D (ALLEN; CURLESS; POPOVIC, 2003).

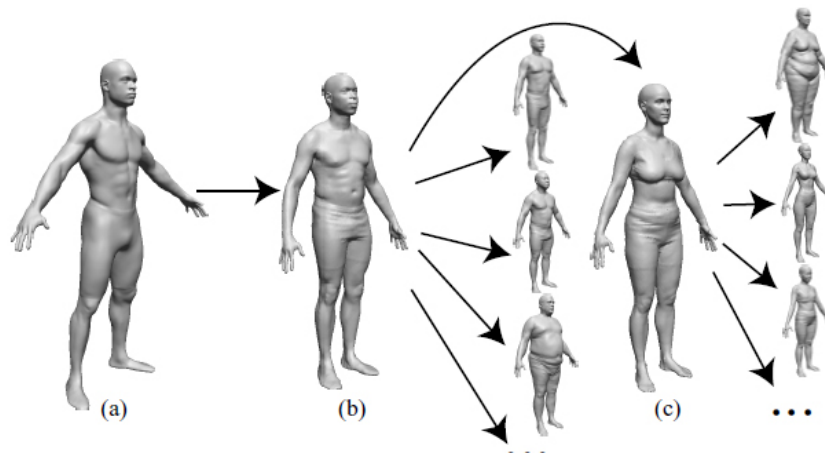


Figura 2.15: Correção de malhas. (a) Modelo base, (b) e (c) Correção do modelo obtido por Scanner 3D para geração de outros modelos por *morphing* (ALLEN; CURLESS; POPOVIC, 2003).

Estudando as características das malhas do banco, Allen e seus coautores conseguiram gerar novos modelos modificando atributos, como altura e peso (Figura 2.16), e também conseguiram transferir controles de animação entre os modelos gerados.

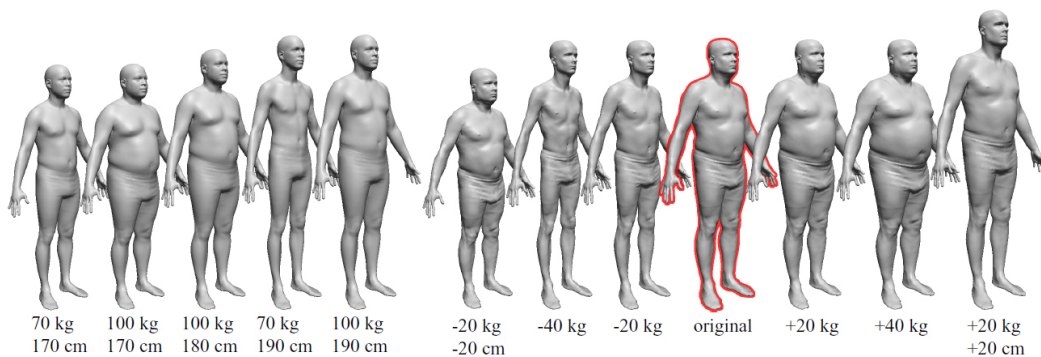


Figura 2.16: Variação de peso e altura a partir de um modelo original (ALLEN; CURLESS; POPOVIC, 2003).

2.2.3 Geração baseada em templates deformáveis

Em 2003, Seo e Thalmann (SEO; THALMANN, 2003), usando patches de Bézier, desenvolveram um modelo base que se adapta aos dados obtidos por scanners 3D (Figuras 2.17 e 2.18) para gerar novos personagens. Os dados utilizados para guiar a adaptação do modelo base e gerar um novo modelo são oriundos da combinação de medidas de modelos disponíveis em uma base de dados corporais e da entrada de parâmetros pré-definidos (Figura 2.17).

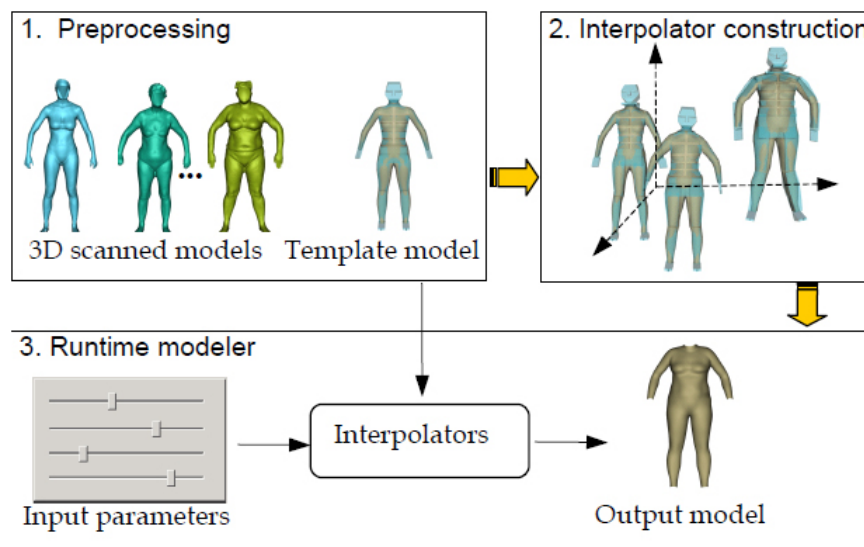


Figura 2.17: Processo utilizado por Seo e Thalmann para a geração de novos modelos.

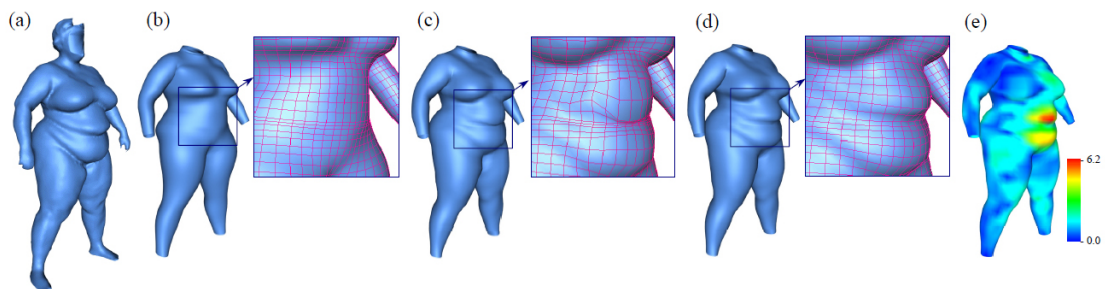


Figura 2.18: Variação de peso e altura a partir de um modelo original (SEO; THALMANN, 2003).

Existem várias vantagens para essa abordagem. Encontrando os parâmetros apropriados para o modelo adaptável, os modelos passam a ter a mesma topologia, com o mesmo número de vértices e as mesmas relações hierárquicas. Com uma topologia determinada, é possível descrever a forma do objeto vetorialmente, podendo alterar o nível de detalhes do mesmo de forma simplificada. Também é possível extrair informações e manipular a superfície de forma mais eficiente. Caso fosse utilizado o modelo de malha poligonal obtido a partir de scanner 3D, como fez Allen e seus coautores, seria necessário reconstruir as imperfeições e as partes incompletas, elevando o custo computacional do

método, tanto para a construção do modelo, como para a manipulação posterior para animação.

Kasap e Magnenat-Thalmann (KASAP; MAGNENAT-THALMANN, 2008) apresentaram um modelo em tempo real para geração de corpos humanos individualizados. Baseado em um modelo de corpo, deformações por vértices são geradas de acordo com medidas antropométricas padrões. Esses padrões são utilizados durante a fase de concepção do modelo de corpo para segmentá-lo em regiões onde parâmetros de medição correspondentes e pesos de deformação são aplicados para gerar modelos individualizados. Informações existentes sobre características de pele são mantidas disponíveis, independentemente da deformação de medidas, e por isso é possível deformar o modelo em qualquer postura dinâmica enquanto ele é animado. Dependendo da forma anatômica das regiões, os pesos de deformação e parâmetros específicos de controle são misturados para mudar medidas do corpo em GPU. O cálculo dos pesos de deformação é baseado em splines e distâncias radiais dos vértices da superfície (Figura 2.19). O processo de deformação preserva a continuidade entre vizinhos e evita sobreposições de regiões do modelo de corpo. Utilizando um conjunto de parâmetros de alto nível, esta técnica poderia ser usada para gerar modelos de tamanhos diferentes na multidão virtual com real eficiência de tempo (Figura 2.20).

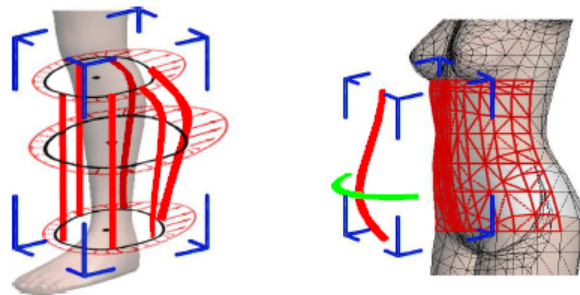


Figura 2.19: Deformação baseada em splines e distância radial dos vértices da superfície (KASAP; MAGNENAT-THALMANN, 2008).

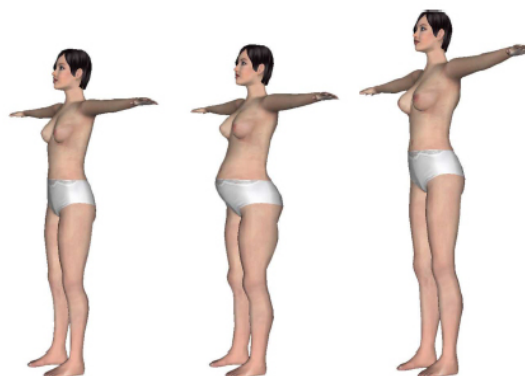


Figura 2.20: Alguns resultados obtidos por (KASAP; MAGNENAT-THALMANN, 2008).

2.2.4 Geração baseada em algoritmos genéticos

A técnica de algoritmos genéticos, usada para diversos fins na ciência da computação, se inspira nas teorias evolucionistas da biologia, utilizando conceitos de hereditariedade, mutação, seleção natural e recombinação. Assim, dada uma população inicial de informações, são feitas combinações dos seus cromossomos, na busca de soluções aproximadas melhores para o problema. A cada geração é feita uma avaliação com a seleção de indivíduos mais apropriados para as interações seguintes, formando novas populações. Esse processo é realizado até que se chegue a um resultado satisfatório. Normalmente essa técnica é utilizada para convergir um grupo de dados para uma solução otimizada. Em 1999, Hancock e Frowd (HANCOCK; FROWD, 1999) desenvolveram um sistema para geração de imagens de alta qualidade pela recombinação aleatória (usando algoritmos genéticos) de componentes faciais relevantes visando gerar faces parecidas com uma face alvo. Uma aplicação prática para o sistema, é a geração de uma imagem de um suspeito de um crime a partir da descrição de uma testemunha.

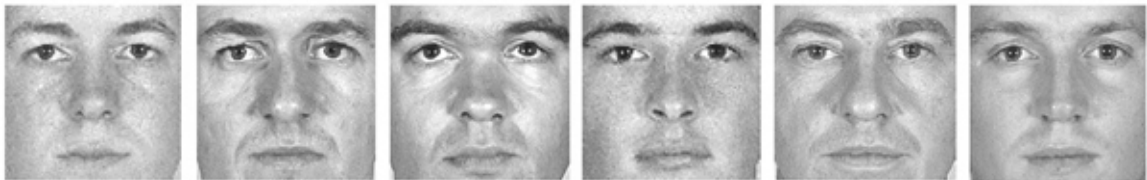


Figura 2.21: Faces utilizadas para a simulação (HANCOCK; FROWD, 1999).

Partindo de um conjunto inicial de faces (Figura 2.21), são atribuídos pesos a cada face, de acordo com a sua semelhança com o alvo a ser atingido. Com todas as fotos devidamente associadas de acordo com as técnicas de *morphing* (associação de pontos, como: cantos dos olhos, boca, etc.), foi possível gerar um conjunto de faces resultantes (Figura 2.22), que podem ser recombinadas, com a atribuição de novos pesos, até atingir o grau de semelhança desejado.



Figura 2.22: Faces resultantes da combinação das fotos iniciais com seus respectivos pesos (HANCOCK; FROWD, 1999).

Neste trabalho não foram gerados modelos tridimensionais de personagens virtuais, porém o trabalho ilustra os métodos baseados em algoritmos genéticos.

2.2.5 Geração baseada em detalhamento de malha

A geometria detalhada da superfície contribui fortemente para o realismo visual de modelos de face 3D. No entanto, a aquisição de alta resolução da geometria de face muitas vezes é tedioso e caro. Consequentemente, a maioria dos modelos de rosto usados em jogos ou realidade virtual, não parecem reais. Golovinskiy e seus colegas (GOLOVINSKIY et al., 2006) apresentam uma nova técnica estatística para análise e síntese de pequenas características faciais tridimensionais, como rugas e poros (Figura 2.23). Foram adquiridas geometrias de rostos em alta resolução em uma ampla gama de idades, gêneros e raças. Para cada faixa, foram separados os detalhes da superfície da pele de uma malha base lisa usando subdivisão de superfícies deslocadas. Então, foram analisados os mapas de deslocamentos resultantes usando a análise da textura. Finalmente, foram extraídas estatísticas para sintetizar detalhes plausíveis sobre malhas de faces arbitrárias. Foi demonstrada a eficácia do método, incluindo a análise de textura facial em indivíduos com diferentes idades e sexos, acrescentando detalhes a modelos de baixa resolução da face e ajustando a idade aparente.

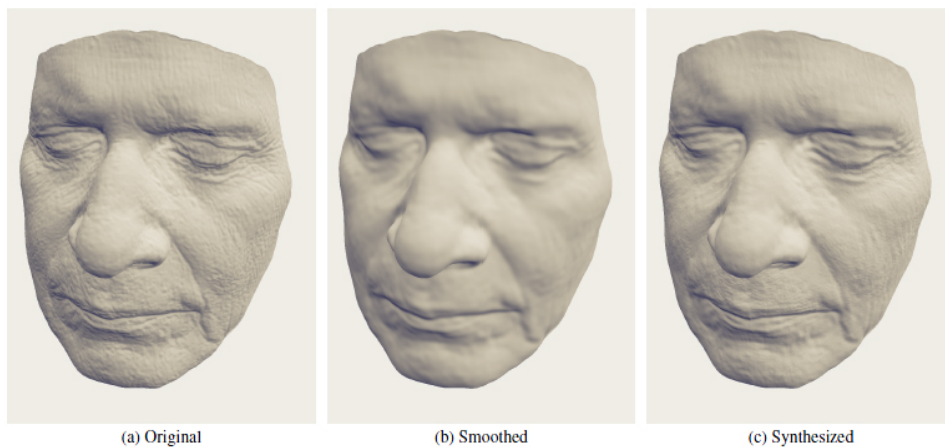


Figura 2.23: Alguns resultados, com a geração de rugas e poros (GOLOVINSKIY et al., 2006).

2.2.6 Geração por simulação do processo reprodutivo

Vieira e seus coautores (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2008a) apresentaram uma solução para o problema de geração automática de personagens virtuais, focando na variabilidade de modelos. A solução apresentada baseou-se no automatismo e na grande variabilidade que ocorre na reprodução de seres diploides. O processo necessita de uma descrição geométrica subjacente que se adapte segundo as informações genéticas armazenadas em uma estrutura diploide de cromossomos artificiais. O modelo geométrico usado nesse estudo foi composto pela união de patches de Bézier. O controle da adaptação do modelo usou pontos definidos por *landmarks* antropométricos cujos subagrupamentos definiram as características genéticas armazenadas como genes nos pares de cromossomos homólogos artificiais. Através do processo de meiose simulada, aplicado sobre a estrutura

cromossômica de dois modelos geradores, gametas foram gerados para posteriormente serem usados na fecundação simulada.

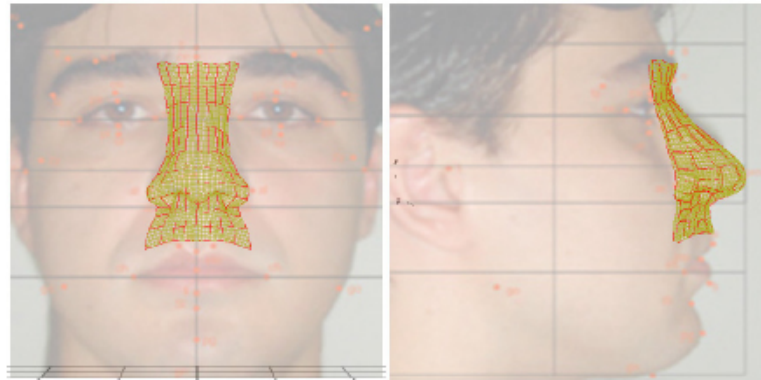


Figura 2.24: Modelagem a partir de imagens frontal e lateral (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2008a).

Os estudos de casos apresentados simularam a fecundação de gametas gerados a partir de modelos masculinos e femininos obtidos por imagens laterais e frontais (Figura 2.24), considerando as possibilidades de combinação de modelos com características étnicas diferentes e de personagens de desenho animado (Figura 2.25). Foram utilizados apenas nove genes e a aplicação dos ajustes ocorre em regiões isoladas do modelo (Figura 2.26), com a técnica de *morphing*.

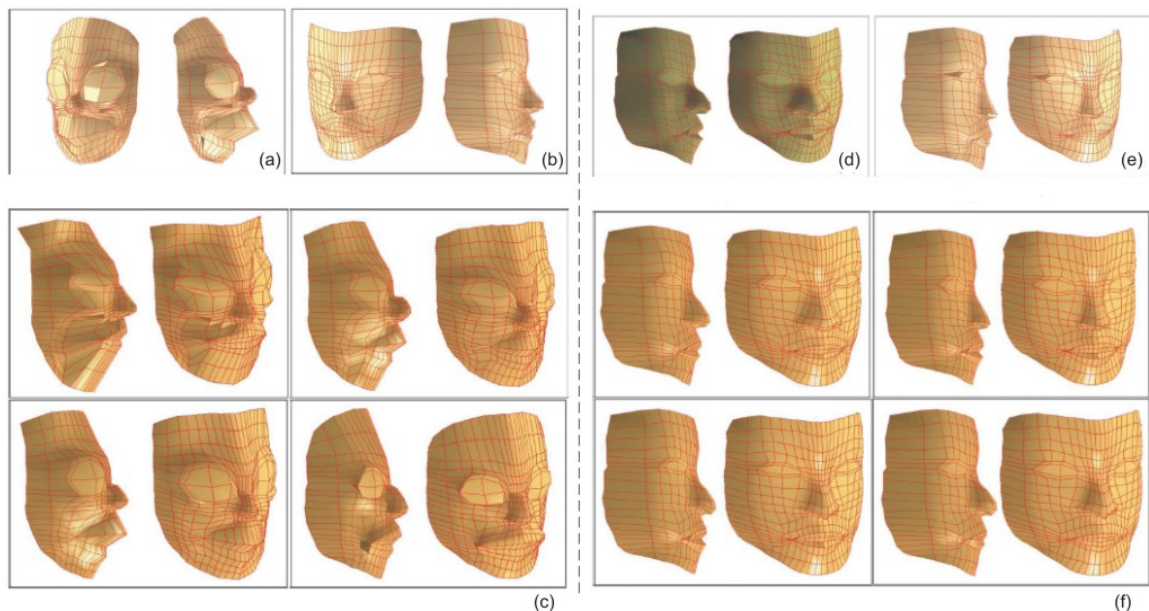


Figura 2.25: Alguns resultados obtidos pelo processo reprodutivo (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2008a).

A técnica gerou resultados promissores, porém, por estar focada em variabilidade de resultados a partir de dois modelos iniciais, não simulou a transmissão para gerações seguintes, não considerou questões relacionadas a gênero, cores de pele e olhos, além de ter sido aplicada apenas a faces. A estrutura de patches de Bézier também dificulta a simulação

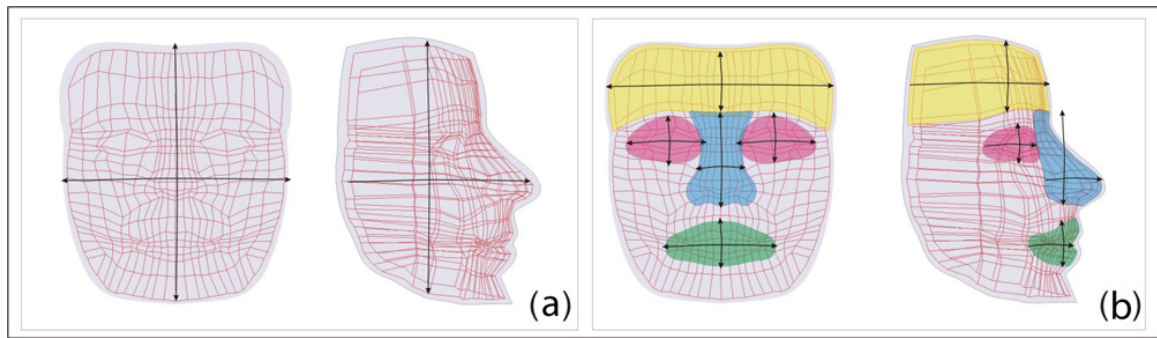


Figura 2.26: Isolamento de regiões da face (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2008a).

de novos modelos, uma vez que a mesma não é um padrão universal e os modelos são construídos manualmente por fotos frontais e laterais. A opção pelo isolamento de regiões e aplicação de *morphing*, gerou problemas de continuidade entre as regiões.

2.3 Manipulação de Personagens Virtuais

2.3.1 Geração de Expressões

O problema de geração de expressões faciais não é novo. Em um survey escrito por Noh e Neumann (NOH; NEUMANN, 1998), várias dessas técnicas – interpolação, parametrização, *morphing* e técnicas baseadas em deformações de camadas musculares – são apresentadas (Figura 2.27). Alguns dos trabalhos com técnicas distintas são apresentados brevemente nesta seção.

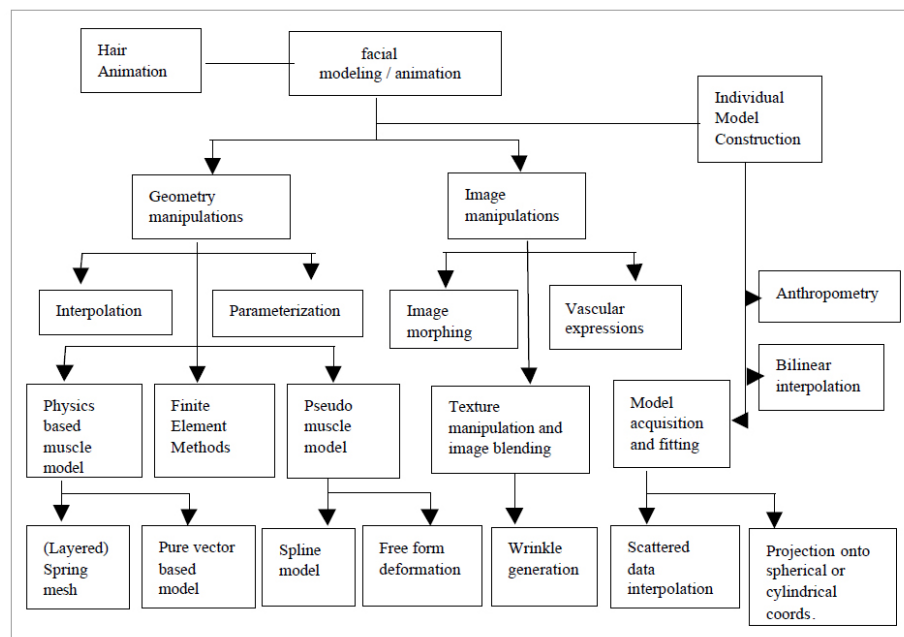
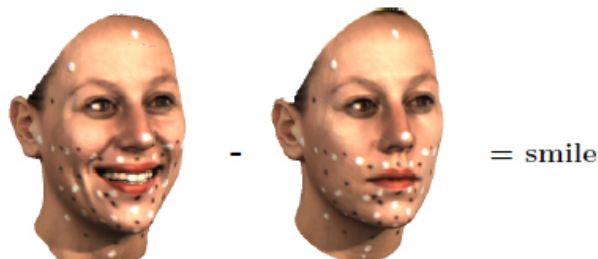


Figura 2.27: Diagrama de técnicas de geração de expressões (NOH; NEUMANN, 1998).

DeCarlo (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998) foi um dos pioneiros na utilização de técnicas antropométricas para a geração automática de faces com medidas distintas na construção de avatares a serem utilizados em aplicações de realidade virtual, e seu trabalho serviu de inspiração para vários outros trabalhos. Com esses estudos, foi possível gerar variabilidade de modelos, porém, a utilização de medidas e proporções não é muito explorado para a geração de expressões. Fratarcangeli et al. (FRATARCANGELI; SCHAERF; FORCHHEIMER, 2007) foi um dos que utilizou a especificação MPEG-4, que emprega *landmarks* antropométricos, para definir os parâmetros de animação da sua técnica. Blanz e Vetter (BLANZ; VETTER, 1999) foi um dos primeiros a estudar o espaço de faces. Ele usou a técnica de PCA (Principal Component Analysis) para gerar um modelo linear passível de mudanças morfológicas a partir de um banco de dados de faces e expressões obtidas por scanner 3D. Os resultados foram muito realistas, mas é necessário ter modelos com mesma topologia e ter as expressões captadas previamente, por scanner 3D. Com sua técnica, foi possível gerar expressões e transferí-las a outros modelos (BLANZ, 2006; BLANZ et al., 2003)(Figura 2.30).

Learning:



Application:

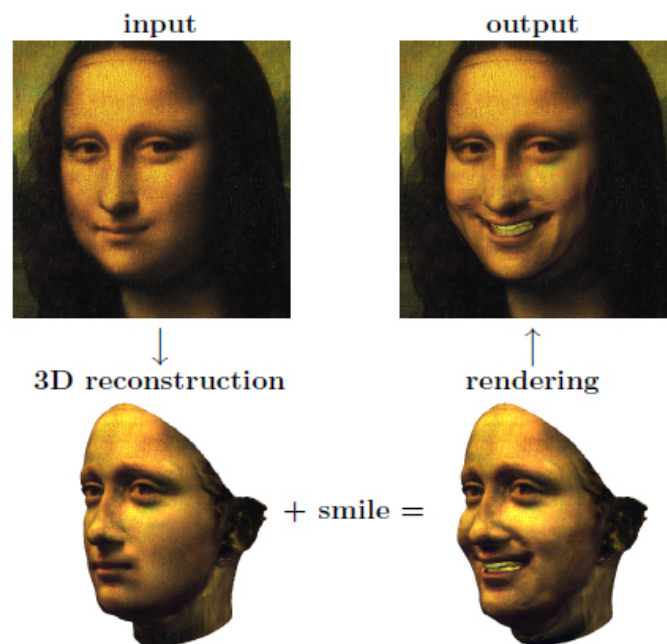


Figura 2.28: Método de transferência de expressões utilizado por (BLANZ, 2006).

Bui e seus coautores (BUI et al., 2003) também utilizaram a técnica de *morphing*, para animações faciais (Figura 2.29), sendo necessário gerar as várias expressões previamente, para cada modelo. O detalhe é que a aplicação de transferência de expressões por *morphing*, geralmente produz resultados padrão. Isso porque o movimento de cada vértice é constante. Não importa se o modelo tem boca larga ou não, o movimento de cada região é padrão, não levando em consideração o fato de que uma boca larga pode ter amplitude de movimento maior, por exemplo.

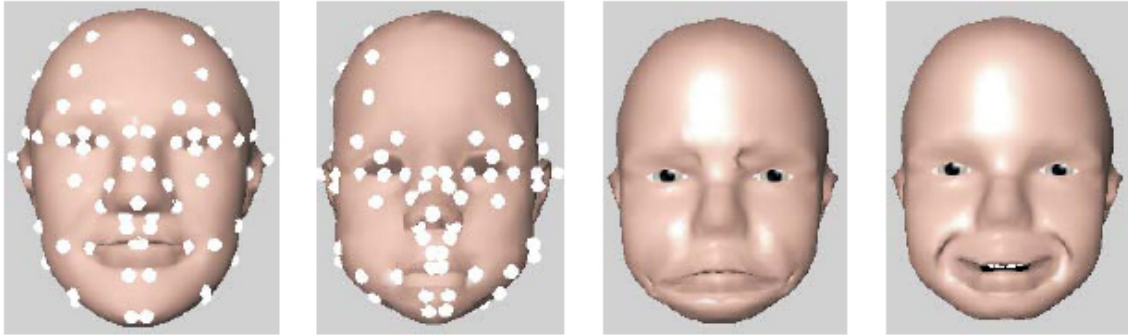


Figura 2.29: Transferência de expressões por morphing utilizado por (BUI et al., 2003).

Kähler e seus coautores (KAHLER et al., 2002) construíram um modelo com camadas anatômicas (pele, músculos e ossos) associadas com landmarks antropométricos. Com esse sistema de camadas, é possível deformar músculos, gerando diferentes expressões, porém, para cada modelo distinto, é necessário adaptar, ou recriar o sistema de camadas. Neste caso é complicado configurar todas essas camadas em modelos de criaturas diversas.

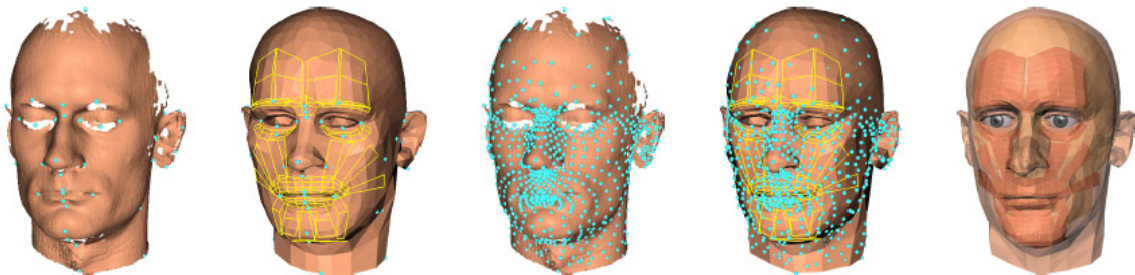


Figura 2.30: Modelo com camadas anatômicas utilizado por (KAHLER et al., 2002).

Kalra e seus coautores (KALRA et al., 1992) utilizaram deformação de forma livre (FFD - Free-Form Deformation) para gerar expressões. A malha do rosto é incluída em uma caixa flexível contendo pontos de controle. Com a deformação da caixa, a malha do rosto também é deformada seguindo os mesmos parâmetros.

Noh e seus coautores (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000) utilizaram a técnica de RBF para gerar expressões faciais em tempo real, a serem utilizadas em sistemas de videoconferência (Figura 2.31). Foi desenvolvido um sistema de deformação facial baseado em movimentação de pontos (Figuras 2.32 e 2.33) em uma região de influência, porém, nesse sistema, era necessário gerar as expressões para cada pessoa modelada. Além dessa res-

trição, o modelo de zonas de influência adotado impõe outras limitações que são discutidas nas próximas seções.



Figura 2.31: Resultados de aplicação de expressões obtidos por (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000).

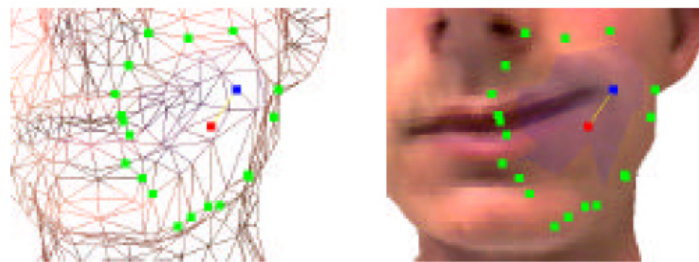


Figura 2.32: Método de deformação utilizado por (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000).

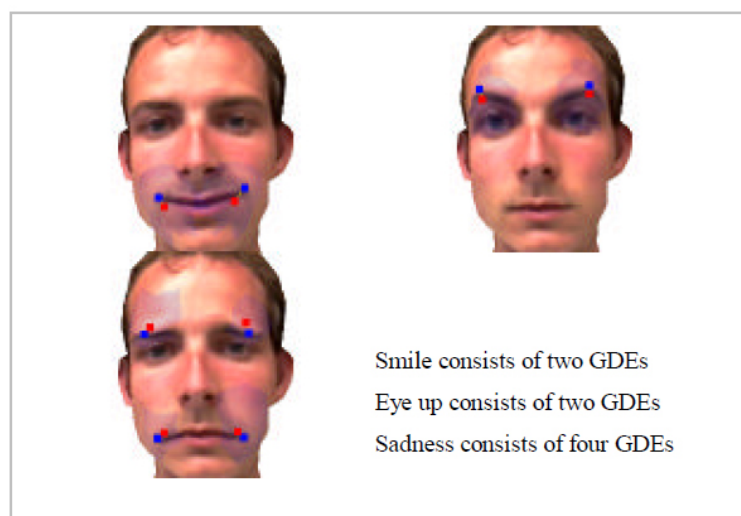


Figura 2.33: Definição de pontos a serem movidos (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000).

Em seu trabalho de clonagem de expressões, Noh e Neumann (NOH; NEUMANN, 2001) aplicam técnicas de deformação semelhantes para transferir os diferentes tipos de expressões entre dois personagens virtuais com topologia de malha distintas (Figura 2.34), servindo como base para muitos outros trabalhos (LAU et al., 2007; PYUN et al., 2003; SU-CONTPHUNT et al., 2008; THEOBALD et al., 2007; VLASIC et al., 2005; WEISE et al., 2009; YANO; HARADA, 2009). Alguns desses trabalhos utilizaram modelos com diferentes características faciais, e outros restringiram-se a modelos humano, mas, a fim de transferir as expressões era necessário encontrar correspondências densas entre os modelos (Figura 2.35) empregando *volume morphing* e projeção cilíndrica para aplicação das deformações por RBF. Alguns outros trabalhos têm necessidade de personalizar um modelo base para a entrada.



Figura 2.34: Personagem virtual recebendo expressões (NOH; NEUMANN, 2001).

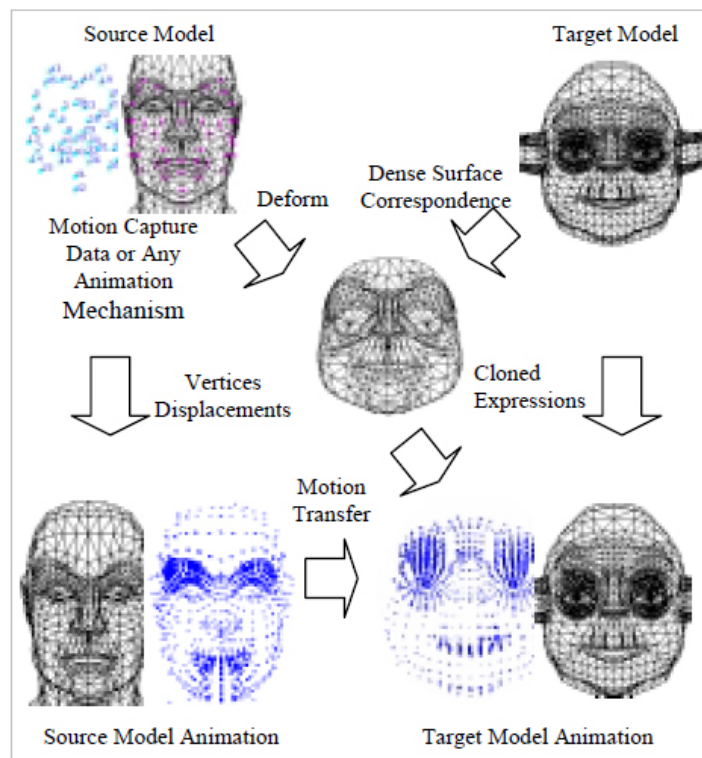


Figura 2.35: Sistema de clonagem de expressões (NOH; NEUMANN, 2001).

A maioria das técnicas propostas na literatura utiliza cálculos pesados, o que incorre em custos de CPU elevados, impraticáveis em caso de utilização em tempo real, em grande quantidade de modelos, em jogos. O método apresentado neste trabalho é baseado em

técnicas de antropometria e não precisa de um passo de correspondência densa. Ele utiliza *landmarks* e as proporções das medidas antropométricas em conjunto com técnicas de deformação semelhantes aos utilizados por Noh et al . (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000), a fim de ajustar o modelo através das zonas de influência. O método proposto permite a geração automática de expressões de diversos modelos (humanos, criaturas, animais, etc) após a identificação de seus *landmarks* faciais.

2.3.2 Caricaturização de Personagens

A geração de caricaturas nesses modelos exige técnicas de modelagem e manipulação de malhas. O survey produzido por Noh e Neumann (NOH; NEUMANN, 1998) descreve diversas técnicas de modelagem e manipulação de modelos para a geração de animações faciais, como visto anteriormente. São técnicas de *morphing*, antropometria, deformação por free-form, etc. Diversos autores têm explorado o problema da geração automática de caricaturas (AKLEMAN; PALMER; LOGAN, 2000; CALDERA et al., 2000; GOOCH; REINHARD, 2004; LIM; FEDOROV; KIM, 2007; LEE; SOON; ZHU, 2007; MAURO; KUBOVY, 1992; RAUTEK; VIOLA; GRÖLLER, 2006; SOON; LEE, 2006; XIE et al., 2009) com algumas dessas técnicas.

Muitos desses autores desenvolveram trabalhos para a geração de caricaturas em 2D. Chiang e seus coautores criaram um sistema que identifica padrões em caricaturas 2D feitas por artistas (Figura 2.36), tentando reproduzi-los (CHIANG; LIAO; LI, 2004). O processo consiste em mapear aspectos da face de uma foto da pessoa a ser transformada em caricatura, adaptando padrões de caricaturas a esse mapeamento.

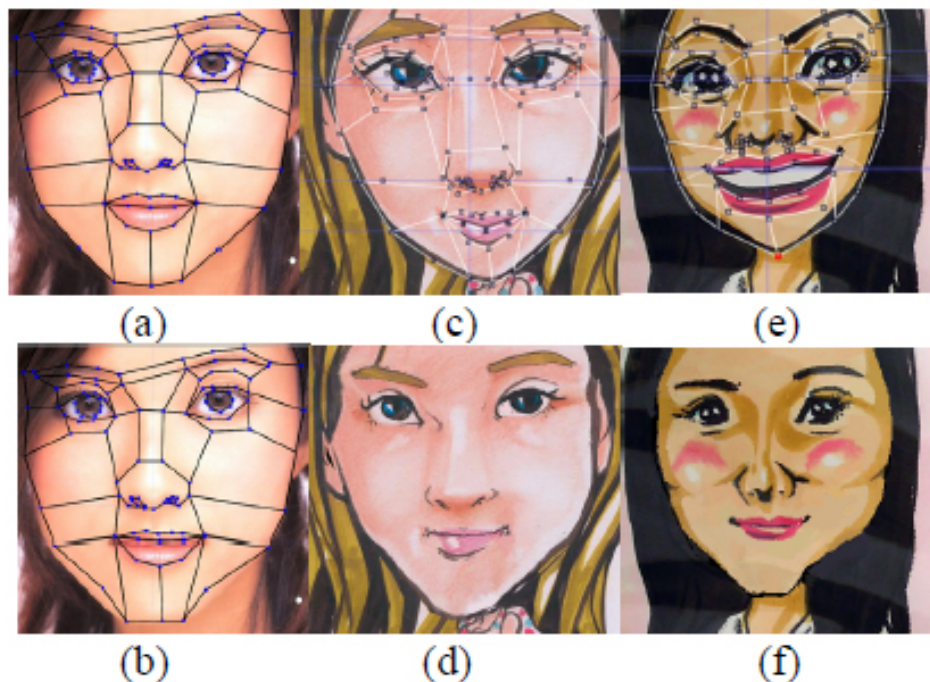


Figura 2.36: Resultados obtidos por (CHIANG; LIAO; LI, 2004), com a utilização de padrões artísticos de caricaturas.

Blanz foi um dos primeiros a estudar o espaço de faces (BLANZ; VETTER, 1999; BLANZ, 2006). Ele usou a técnica de PCA para gerar um modelo linear passível de mudanças morfológicas a partir de um banco de dados de faces e expressões obtidas por scanner 3D. Com essa técnica, é possível comparar o posicionamento de cada vértice de um modelo, com o posicionamento dos vértices de um modelo médio. Após essa comparação, é possível deslocar os vértices de acordo com a diferença encontrada (Figura 2.37). Os vértices com maior diferença de posicionamento são deslocados mais fortemente, acentuando assim, as características que fogem mais da média. Os resultados são interessantes, mas é necessário ter modelos com a mesma topologia. Também não existe muita liberdade para criar caricaturas com estilos diferentes.

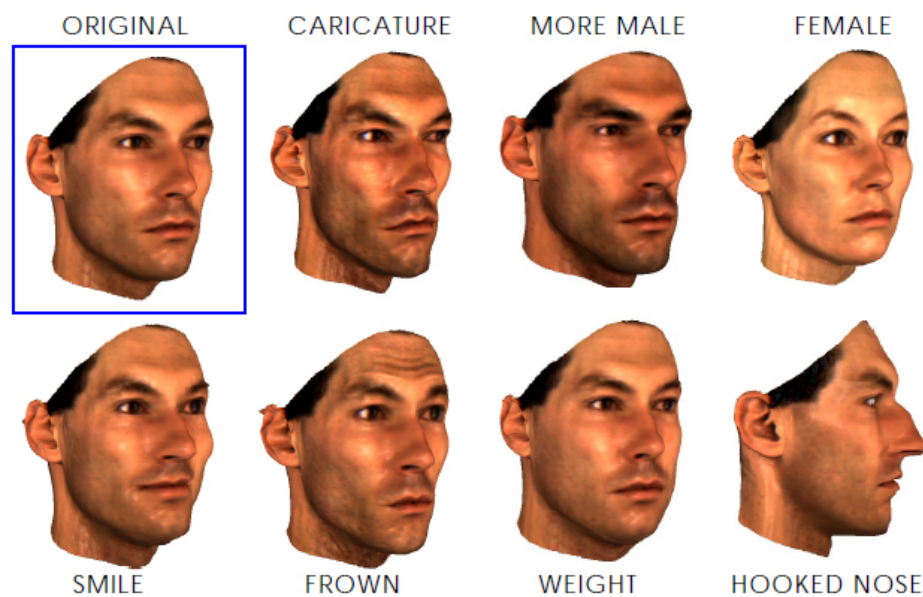


Figura 2.37: Transformações possíveis com o sistema de morphing (BLANZ; VETTER, 1999).

Com o banco de modelos, além de gerar caricaturas, é possível realizar transformações, como as ilustradas na Figura 2.37. A partir de dois modelos médios, um masculino e outro feminino, modelos de diferentes pesos e expressões, é possível "engordar", "emagrecer", fazer transformações de gênero e gerar expressões em um modelo qualquer. No capítulo 4, será feito uso da transformação de gênero em uma etapa do método proposto; neste momento será explicado o processo para chegar ao resultado da transformação.

Liu e seus coautores desenvolveram um sistema de aprendizado de padrões, baseado em PCA, mas com modelos 3D gerados a partir de caricaturas 2D feitas por artistas (LIU et al., 2009). Com esse banco de modelos caricaturados em 3D, é possível fazer análises semelhantes às de Blanz, gerando caricaturas com deformações mais próximas das caricaturas feitas por artistas (Figura 2.38). Porém, continua sendo necessário ter um banco de modelos e malhas com a mesma topologia.

Outros sistemas baseados em aprendizado de padrões também foram propostos (LIANG et al., 2002; LIU; CHEN; GAO, 2006; SHET et al., 2005).

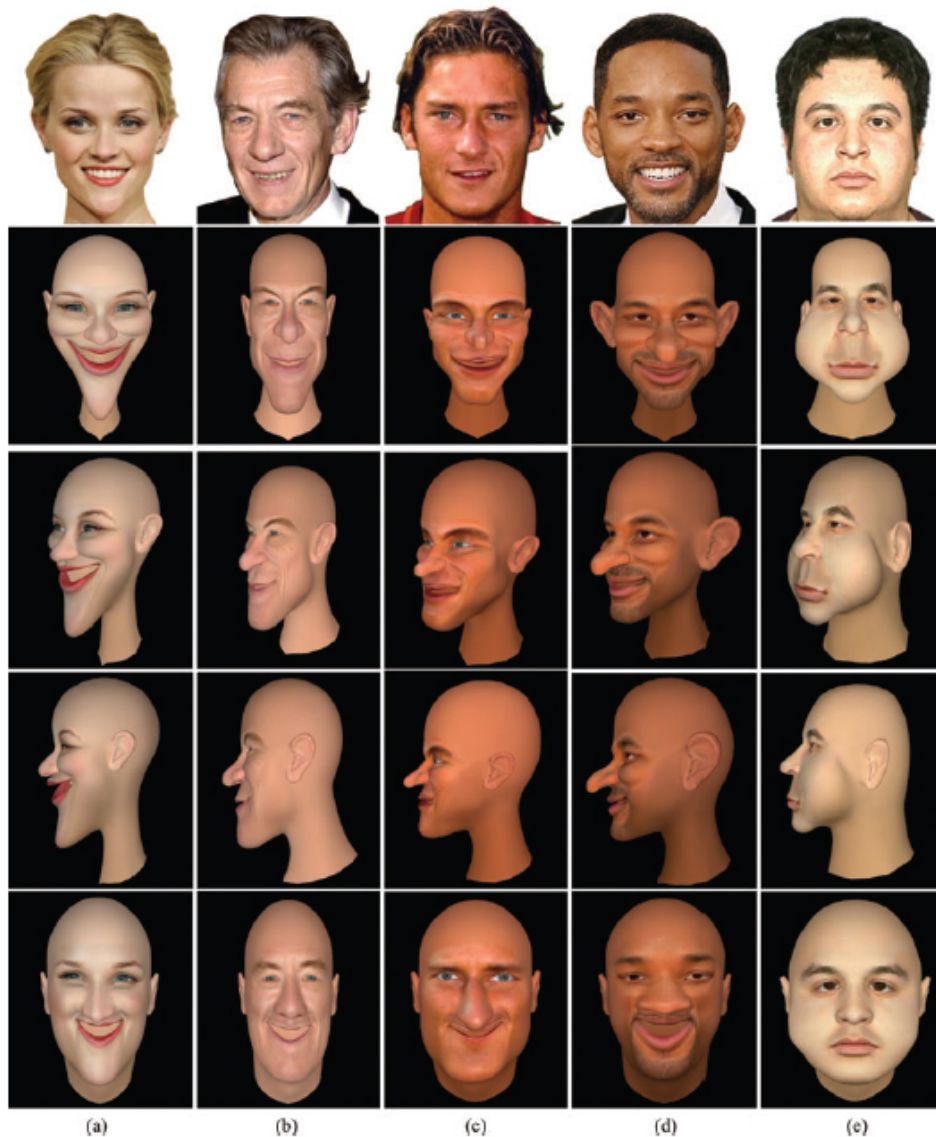


Figura 2.38: Resultados obtidos por (LIU et al., 2009) e pelo método de *morphing* tradicional (última linha)

Para a geração de caricaturas, no método proposto neste trabalho, foi desenvolvido uma técnica de deformação facial baseada em movimentação de pontos em uma região de influência, a qual tem a vantagem de ser independente da topologia da malha. Essa técnica faz uso de medidas antropométricas e se assemelha às técnicas propostas por (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000). As malhas dos modelos são ajustadas às deformações provocadas pela movimentação ou escala de zonas de influência. Isso é feito de forma automática e acentua determinadas características do modelo. Os estudos de casos realizados comparam os resultados do método proposto com o método de *morphing* proposto por Blanz (BLANZ; VETTER, 1999) e o método proposto por Liu e seus coautores (LIU et al., 2009).

2.4 Considerações Finais

Existem diversas técnicas para a geração de novos modelos de personagens virtuais, aplicação de expressões e caricaturização. Nesta seção, os trabalhos sobre geração de modelos foram divididos em técnicas baseadas em antropometria, *morphing*, técnicas baseadas em templates, algoritmos genéticos, detalhamento de malhas e reprodução simulada, embora em determinados momentos uma técnica fazer uso de outra, como foi visto na descrição dos trabalhos. Os métodos propostos neste trabalho utilizam conceitos da Antropometria, para adaptação de medidas corporais. Para a geração de personagens virtuais são feitas combinações de informações dos modelos materno e paterno para a geração dos modelos descendentes, usando conceitos semelhantes ao de algoritmos genéticos. No entanto, diferentemente da técnica de algoritmos genéticos, que tem como objetivo convergir para uma solução desejada, a técnica proposta neste trabalho almeja a diversidade a partir de ancestrais, com a transmissão de quaisquer características a seus descendentes. No Capítulo 3, são apresentados os conceitos biológicos da reprodução de seres diploides e os métodos de adaptação de medidas dos personagens virtuais.

3 CONCEITOS BÁSICOS

3.1 Introdução

Neste capítulo, são tratados conceitos básicos de biologia, relativos à reprodução de seres diploides; são ilustradas características utilizadas em personagens virtuais, como "informações genéticas" e, por fim, são descritos os modelos de deformação de malhas, utilizados para a adaptação de medidas.

3.2 Reprodução de Seres Diploides

A hereditariedade pode ser conceituada como o fenômeno que justifica as semelhanças entre ascendentes e descendentes. As leis da hereditariedade que revolucionaram a Biologia e tornaram-se a base da Genética Moderna foram descobertas por um monge austríaco (Gregor Mendel). Mendel descobriu um princípio genético fundamental: a existência de características como as cores das flores que, segundo ele, é devida a um par de unidades elementares de hereditariedade, hoje conhecidas como genes. Do resultado de suas observações, Mendel formulou suas três teorias básicas, conhecidas como Leis de Mendel:

- Primeira Lei de Mendel (princípio da segregação dos caracteres) – as células sexuais femininas ou masculinas devem conter apenas um fator para cada característica transmitida;
- Segunda Lei de Mendel (princípio da transferência dos caracteres) – cada característica hereditária é transmitida independentemente das demais;
- Terceira Lei de Mendel (conceitos da dominância) – os seres híbridos apresentam um caráter dominante que encobre, segundo determinadas proporções, o chamado caráter recessivo.

Neste capítulo será descrito o processo biológico da reprodução dos seres diploides, passando pelos conceitos de armazenamento das informações genéticas, geração de gametas e fecundação.

3.2.1 Armazenagem de informações genéticas

O termo caráter é utilizado em Genética com sentido muito amplo, já que designa qualquer característica, normal ou patológica, passível de ser notada durante qualquer fase do desenvolvimento de um indivíduo, isto é, desde a sua formação até a sua morte.

Os caracteres, ou características genéticas dos seres vivos estão codificadas nos cromossomos (Figura 3.1). Nos seres chamados diploides, o número total de características genéticas é distribuído em n subconjuntos, onde cada subconjunto é armazenado em um par de cromossomos, chamados de cromossomos homólogos (um cromossomo registrando as características oriundas do pai e o outro as características oriundas da mãe). Cada característica armazenada em um cromossomo é chamada gene. Genes correspondentes nos cromossomos homólogos (genes que ocupam a mesma posição no cromossomo) são chamados de genes alelos.

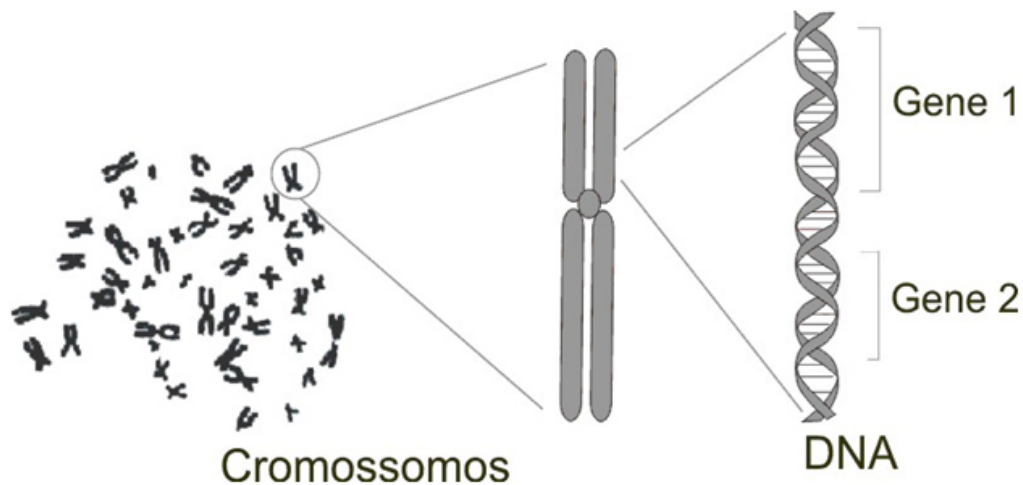


Figura 3.1: Ilustração de um cromossomo isolado.

O lugar certo, invariável, de cada gene num cromossomo, recebe o nome de locus. Um gene para a cor do corpo da mosca *Drosophila*, por exemplo, nunca ocupa o locus do gene para a cor dos olhos e nunca forma com esse um par. Portanto não é seu alelo. Um gene para cor do corpo só pode ser alelo de outro gene para cor do corpo (Figura 3.2). Estudos realizados com a mosca *Drosophila melanogaster* contribuíram bastante para decifrar os princípios fundamentais da genética. Isso se deve aos seguintes fatos: a *Drosophila* é de fácil criação; possui ciclo de vida curto; possui mutantes conhecidas (modificações na cor do olho, na forma da asa, na cor do corpo, etc.) e isoladas em laboratório; possui apenas quatro cromossomos, facilitando a localização dos genes; e sua gestação é de apenas duas semanas, o que facilita os testes de cruzamentos.

A constituição genética de um indivíduo é o seu genótipo. Ele é representado por letras conforme as convenções:

- A letra que designa a manifestação dominante deve ser a mesma que designa a manifestação recessiva;

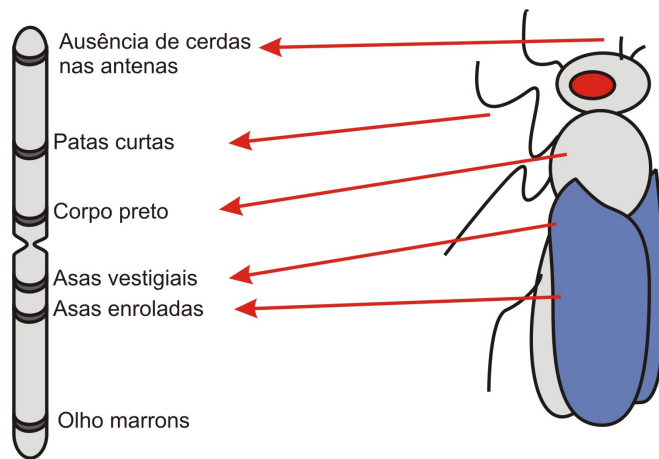


Figura 3.2: Distribuição de genes em um cromossomo.

- A manifestação dominante é representada por uma letra maiúscula e a recessiva por uma letra minúscula;
- A letra preferível deve ser a inicial da manifestação recessiva. Por exemplo, nas drosophilas, a cor do corpo preta é recessiva, sendo o gene para a cor do corpo cinza representado por P e gene para a cor preta por p; as asas vestigiais (curtas e não desenvolvidas) originam-se de um gene recessivo, representado por v e o gene dominante para asas longas por V. Dessa forma, uma drosophila cinza pode ser homocigótica (PP) ou heterocigótica (Pp). Mas a preta tem forçosamente de ser pp (Figura 3.3).

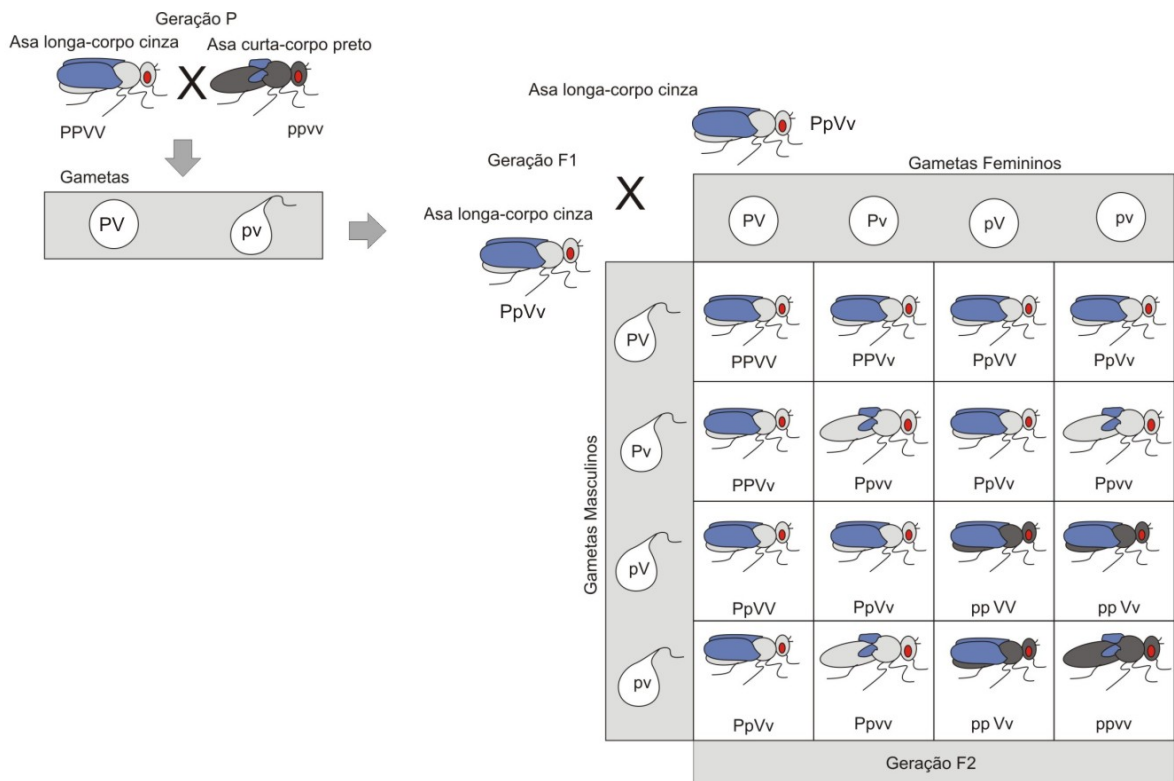


Figura 3.3: Cruzamento entre Drosophilas.

A manifestação observável do genótipo é o que se chama fenótipo. Essa manifestação pode ser morfológica, fisiológica ou comportamental. Também fazem parte do fenótipo características microscópicas e de natureza bioquímica, que necessitam de testes para serem identificadas. Características fenotípicas visíveis são, por exemplo, a cor de uma flor, a cor dos olhos de uma pessoa, a textura do cabelo, etc.; já o tipo sanguíneo e a sequência de aminoácidos de uma proteína são características fenotípicas reveladas apenas mediante testes especiais. O fenótipo de um indivíduo sofre transformações com o passar do tempo, à medida que ele envelhece. Fatores ambientais também podem alterar o fenótipo de um indivíduo.

Todas as células de um ser diploide adulto originam-se de uma única célula, o óvulo fecundado. Essa célula-ovo ou zigoto, por meio de divisões celulares sucessivas, propicia a formação de organismos complexos, dotados de bilhões de células. Essas inúmeras células podem ser agrupadas de duas maneiras diferentes: as células somáticas (com $2n$ cromossomos), que em conjunto formam o corpo do indivíduo, e os gametas (com n cromossomos), destinados à perpetuação da espécie. Nos seres humanos, as células somáticas possuem 23 pares de cromossomos ($2n = 46$ cromossomos) e os gametas (óvulos e espermatozoides) possuem 23 cromossomos ($n = 23$ cromossomos).

Em populações naturais, a variação na maioria das características tem a forma de uma faixa contínua fenotípica, ao invés de discretas classes fenotípicas. Em outras palavras, a variação é quantitativa, não qualitativa. A análise genética mendeliana é extremamente difícil de aplicar a tais distribuições fenotípicas contínuas, e assim técnicas estatísticas são empregadas em seu lugar.

A principal tarefa da genética quantitativa é determinar as maneiras pelas quais os genes interagem com o ambiente para contribuir para a formação de uma distribuição de características quantitativas. A variação genética subjacente a uma distribuição de caráter contínuo pode ser o resultado da segregação em um único locus genético ou numerosos loci que interagem para produzir efeitos cumulativos sobre o fenótipo.

Caracteres Qualitativos

A designação caráter qualitativo é atribuída aos caracteres em relação aos quais os indivíduos de uma população podem ser classificados de modo a ficarem separados em categorias que não mostram qualquer conexão entre si e que são mutuamente exclusivos. De acordo com essa designação, cada indivíduo pode ser incluído em apenas uma dentre duas ou mais classes. É o que acontece quando os seres humanos são classificados quanto à capacidade de suas hemácias serem aglutinadas quando suspensas em antissoros, isto é, em soros sanguíneos que contêm aglutininas específicas que reconhecem antígenos das hemácias. Também são caracteres qualitativos, a cor do corpo e o tipo de asa da mosca *Drosophila*, descritas na seção anterior.

Caracteres Quantitativos

Toda característica que puder ser representada por um valor numérico é denominada variável. As variáveis são ditas quantitativas, podendo ser contínuas ou discretas, quando

atribuídas a caracteres que não permitem aos indivíduos serem categorizados em classes que não têm conexão entre si. Tais caracteres, por sua vez, são denominados caracteres quantitativos e são, frequentemente, representados por variáveis contínuas, isto é, medidas que podem ser classificadas ordenadamente e quantificadas em números reais (números inteiros ou decimais, a partir de zero). Essas medidas permitem, pelo menos do ponto de vista teórico, a introdução de um número infinito de valores intermediários em um intervalo qualquer, por menor que seja. É o caso da estatura ou da medida de qualquer parte do corpo, do peso corporal ou de qualquer órgão, do nível plasmático de alguma substância como a creatinina, uréia, e o colesterol, da temperatura, da pressão arterial, etc. Os caracteres quantitativos, entretanto, também podem ser representados por variáveis discretas, isto é, por medidas que só admitem números inteiros, e que também podem ser classificadas ordenadamente e quantificadas. Esse é o caso do número de filhos de um casal, do número de pêlos em uma determinada área do corpo, do número de batimentos cardíacos por minuto, do número de cristas dermopapilares na falange distal dos dedos, etc. O estudo da distribuição dos caracteres quantitativos em amostras das populações humanas permite constatar serem numerosos aqueles que apresentam uma distribuição unimodal, isto é, que mostram apenas uma região de densidade máxima, a moda. Além disso, verifica-se que grande número desses caracteres apresentam distribuições estatísticas próximas da distribuição normal, e, por esse motivo, as propriedades da distribuição normal são adotadas na prática (Figura 3.4) (BEIGUELMAN, 2008).

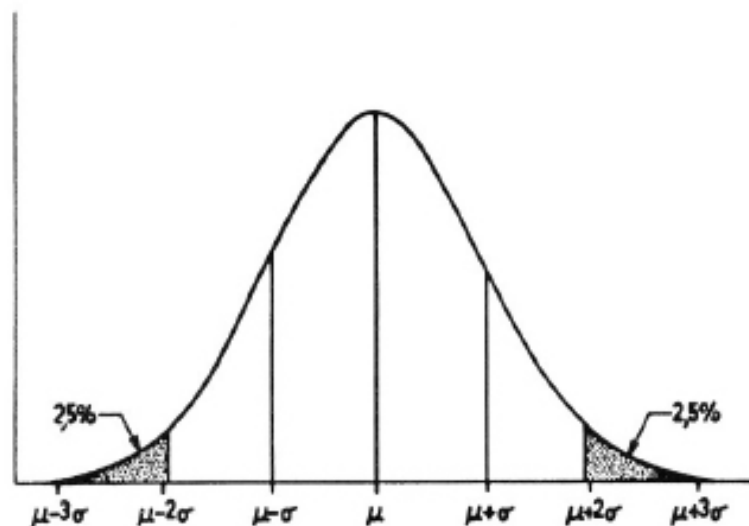


Figura 3.4: Curva normal. (BEIGUELMAN, 2008)

O gráfico da Figura 3.5 ilustra a curva normal da distribuição de uma amostra de 100 secundaristas brasileiros do sexo masculino segundo a estatura medida em centímetros.

Caracteres Semidescontínuos

Certos caracteres contínuos apresentam distribuição contendo duas ou mais modas e uma ou mais antimodas, isto é, um ou mais intervalos de pequena frequência entre as modas. Tais caracteres são denominados semidescontínuos porque, apesar de serem representados

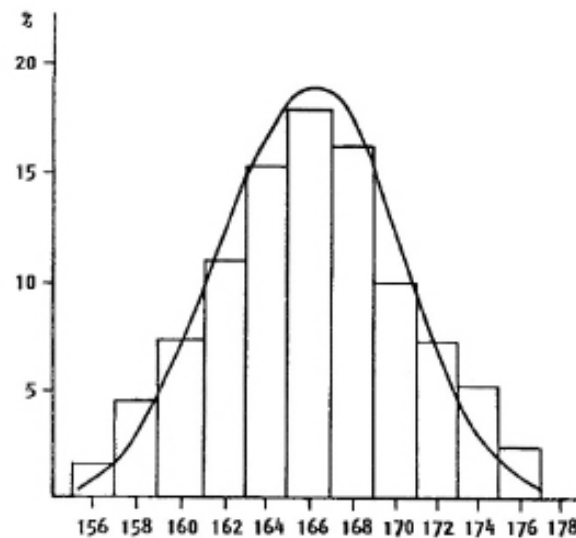


Figura 3.5: Histograma da distribuição de uma amostra de 100 secundaristas brasileiros do sexo masculino segundo a estatura medida em centímetros. Ao histograma foi sobreposta uma curva normal ajustada aos dados.

por variáveis contínuas, eles podem ser tratados como qualitativos, já que as antimodas permitem a separação de classes fenotípicas de uma maneira muito menos arbitrária do que aquelas que podem ser tentadas em relação aos caracteres com distribuição unimodal. Aliás, tal separação será tanto menos arbitrária quanto menor for a frequência de indivíduos que ocorrem na(s) antimoda(s).

3.2.2 Geração de gametas de seres diploides

Células somáticas especializadas chamadas células germinativas – células diplóides – sofrem um processo de divisão celular especial chamado meiose que resulta em gametas – células haploides (uma célula haploide tem a metade do número de cromossomos de uma célula diploide). Através da meiose, uma célula germinativa gera quatro gametas. A meiose ocorre em oito fases distintas, precedida de uma fase de duplicação dos cromossomos chamada Intérfase: Prófase I, Metáfase I, Anáfase I, Telófase I, Prófase II, Metáfase II, Anáfase II, Telófase II (Figura 3.6). A Figura 3.6 ilustra o processo de geração de gametas a partir de uma célula com dois cromossomos heterozigotos. Em algumas dessas fases ocorrem processos de natureza aleatória que são responsáveis pela diversidade dos descendentes. No primeiro desses processos aleatórios, conhecido como permutação ou *crossover*, o qual ocorre na Prófase I, pedaços correspondentes de alguns dos cromossomos homólogos duplicados são trocados entre si. Assim, o novo par de cromossomos homólogos duplicados já é diferente do par duplicado da célula original (Figura 3.7).

A aleatoriedade do *crossover* se deve tanto ao fato de que os tamanhos e os números de pedaços trocados em um par de cromossomos homólogos não são determinísticos, quanto ao fato de que não é determinístico em quais dos n pares de cromossomos homólogos o

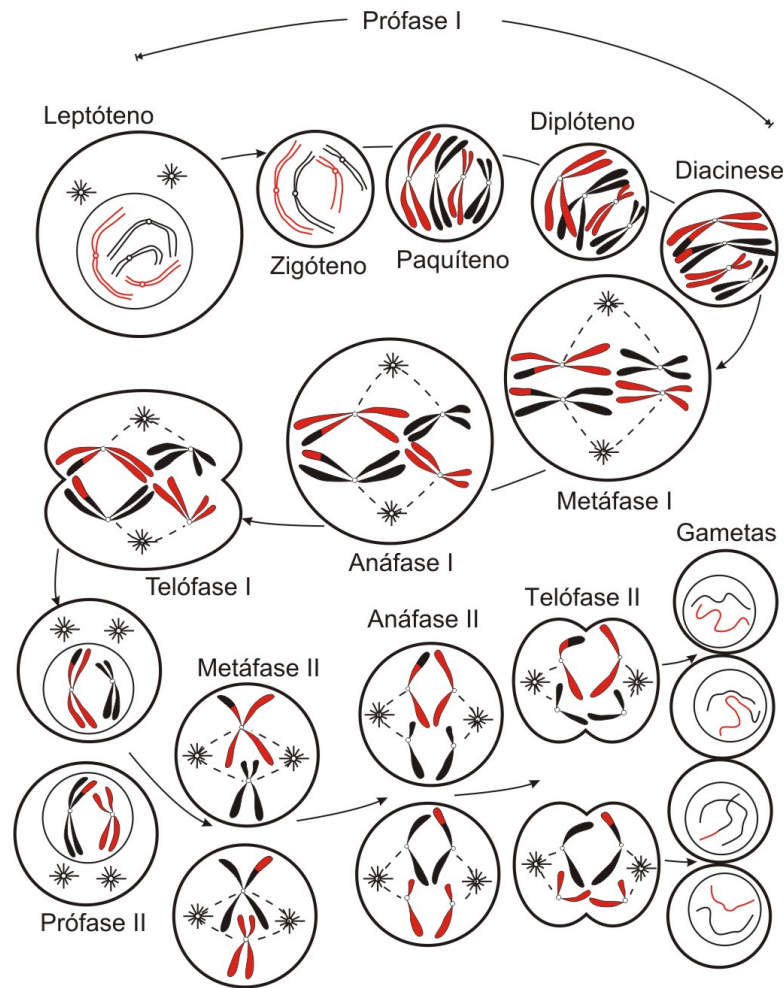


Figura 3.6: Etapas do processo de divisão celular meiótica.

crossover ocorrerá, ou se ocorrerá. Com base em cruzamentos teste, é possível estimar a frequência de recombinação entre dois genes, assim como a distância entre eles, pois essa frequência é diretamente proporcional à distância entre os genes.

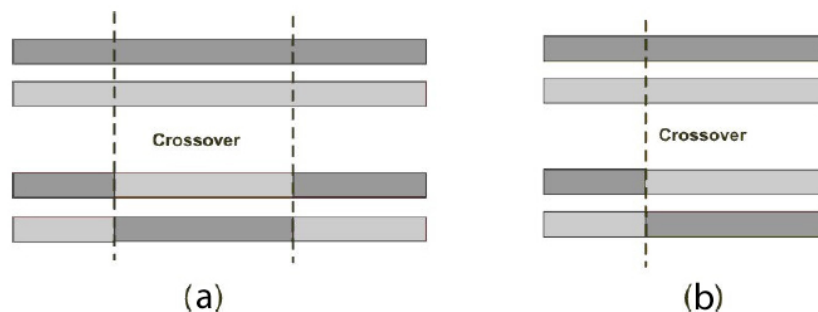


Figura 3.7: *Crossover* com 2 (a) e com 1 (b) pontos de permuta de material genético.

No segundo desses processos aleatórios, que ocorre tanto na Metáfase I quanto na Metáfase II, durante o alinhamento dos n pares de cromossomos homólogos, não é determinístico quais são os n cromossomos que ficarão em uma célula e quais os n cromossomos que ficarão na outra célula após a divisão celular (Figura 3.6).

Em síntese, para a geração dos gametas, cada cromossomo separa-se do seu homólogo, formando células haploides. Esse processo leva a um fenômeno chamado segregação independente dos homólogos. Isso significa que a geração dos gametas ocorre por uma combinação independente dos cromossomos homólogos, possibilitando a geração de uma variedade enorme de gametas. A lei da herança ou lei da segregação independente (segunda lei de Mendel), define que os fatores para duas ou mais características segregam-se, distribuindo-se de forma independente para os gametas, onde se combinam ao acaso (durante a Metáfase I e II da meiose). Desta forma, cromossomos homólogos de origem materna e paterna podem combinar-se livremente, levando à segregação independente de genes situados em cromossomos distintos, como ilustra a Figura 3.8.

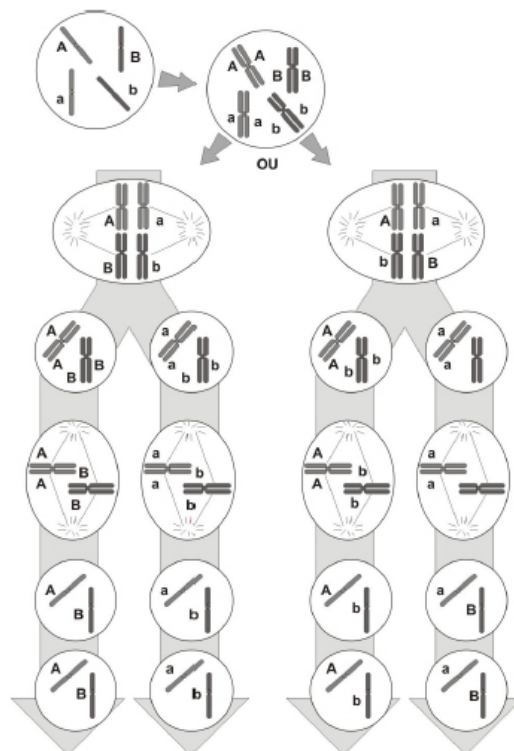


Figura 3.8: Ilustração de possíveis agrupamentos de cromossomos possibilitados pela segregação independente.

No processo de divisão celular de uma célula duplo-heterozigota $AaBb$ (Figura 3.8), com o par de alelos Aa situados em cromossomos diferentes do par Bb , podem ocorrer dois casos durante a Metáfase I:

- O homólogo portador do gene dominante A pode ligar-se ao mesmo pólo do gene dominante B e o gene recessivo a , ao recessivo b , gerando gametas homozigotos AB e ab .
- O homólogo portador do gene dominante A pode ligar-se ao mesmo pólo do gene recessivo b e o gene recessivo a , ao dominante B , gerando gametas heterozigotos Ab e aB .

3.2.3 Fecundação

Cada gameta gerado por dois indivíduos diploides possui apenas um dos alelos de cada gene. A fecundação faz com que os alelos dos gametas se reúnam para formar um ser diplóide. A combinação de alelos poderá ocorrer de diversas formas, porém as mais comuns são: por dominância, por recessividade, dominância incompleta ou por herança quantitativa. No caso de heterozigotos, o gene dominante levará a um fenótipo da sua característica, apesar de também possuir um gene recessivo. Existem casos onde a situação de dominância e recessividade não ocorre por completo, que são os casos de dominância incompleta, onde os indivíduos heterozigotos apresentam características intermediárias entre os fenótipos dos homozigotos. Os casos onde uma característica é influenciada por mais de um gene são chamados de herança quantitativa.

Dominância incompleta

A dominância incompleta ocorre quando a combinação dos genes de um heterozigoto gera fenótipos intermediários e distintos dos homozigotos. Assim, por exemplo, plantas boca-de-leão homozigóticas com flor branca pura e com flor vermelha pura podem ser combinadas para formar uma planta heterozigótica com flores cor-de-rosa (Figura 3.9). Em animais, esse tipo de dominância também pode ocorrer. No caso da plumagem de algumas raças de galinha, o cruzamento entre galinhas puras, com plumagem branca e galinhas puras com plumagem preta, pode gerar descendentes com plumagem azulada.

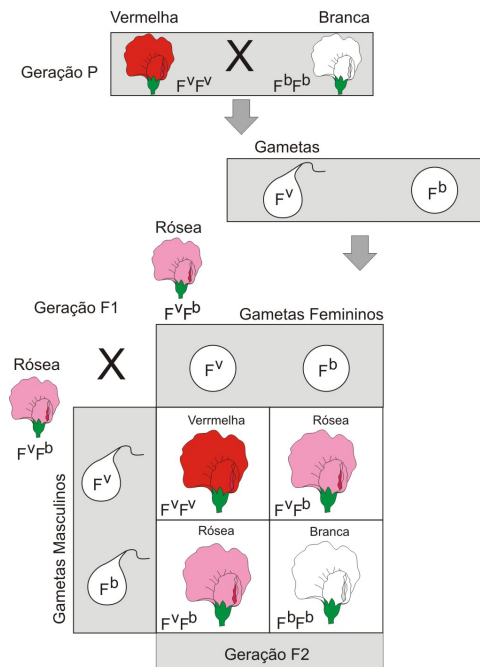


Figura 3.9: Exemplo de dominância incompleta.

Herança quantitativa

Características como altura, peso, cor, etc., são resultados do efeito cumulativo de muitos genes, cada um com contribuição própria para o fenótipo. O tipo de herança, onde participam dois ou mais genes, com ou sem segregação independente, é denominada herança

quantitativa ou poligênica.

O caráter cor da pele, na espécie humana, segue a herança quantitativa, sendo controlada por pares de alelos que determinam a produção de grande quantidade de melanina nas células da pele (Figura 3.10). A cor da íris do olho humano segue a mesma regra da cor da pele, podendo variar entre as cores: azul, verde, algumas tonalidades de castanho, até ao quase negro. A Figura 3.11 mostra um quadro simplificado correspondente à combinação de gametas gerados por homozigotos de olhos azuis e olhos castanho-escuros, supondo que dois genes determinam tal característica.

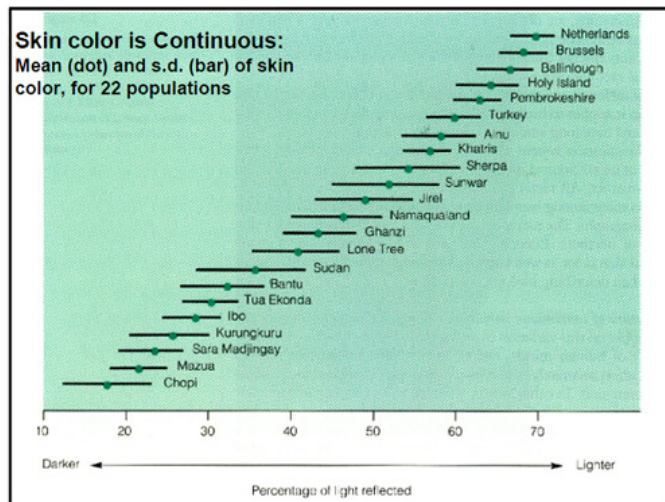


Figura 3.10: Cor da pele tem distribuição contínua.

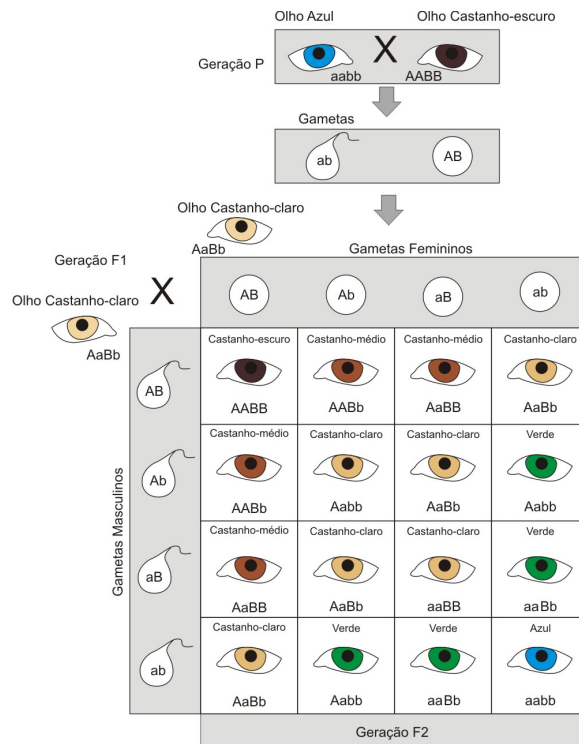


Figura 3.11: Exemplo de herança quantitativa.

3.2.4 Influência Genética e do Ambiente na Aparência Física

Pouco se sabe sobre o grau de influência da genética e do ambiente na aparência física de indivíduos, tais como a geometria do rosto e dos corpos humanos. Os mecanismos pelos quais a forma de uma estrutura complexa, como o crânio humano (Figuras 3.12 e 3.13), resulta da integração das normas morfogenéticas (regras genéticas que controlam a forma de um órgão ou parte de um indivíduo), das respostas plásticas e das forças evolutivas não estão bem estabelecidos (MARTÍNEZ-ABADÍAS; GONZÁLEZ-JOSÉ; GONZÁLEZ-MARTÍN, 2006). Algumas pesquisas genéticas sobre anomalias craniofaciais foram realizadas durante vários anos, mas pouco tem sido feito para avaliar como os genes e ancestralidade genética influenciam a variação normal das características faciais no ser humano (MARTÍNEZ-ABADÍAS, 2007). A semelhança facial entre gêmeos univitelinos (gêmeos originados do mesmo ovo ou zigoto - célula resultante da fecundação de um óvulo por um espermatozoide) quando comparada com gêmeos bivitelinos (gêmeos originados de dois ovos distintos) indica alta hereditariedade para essas características.

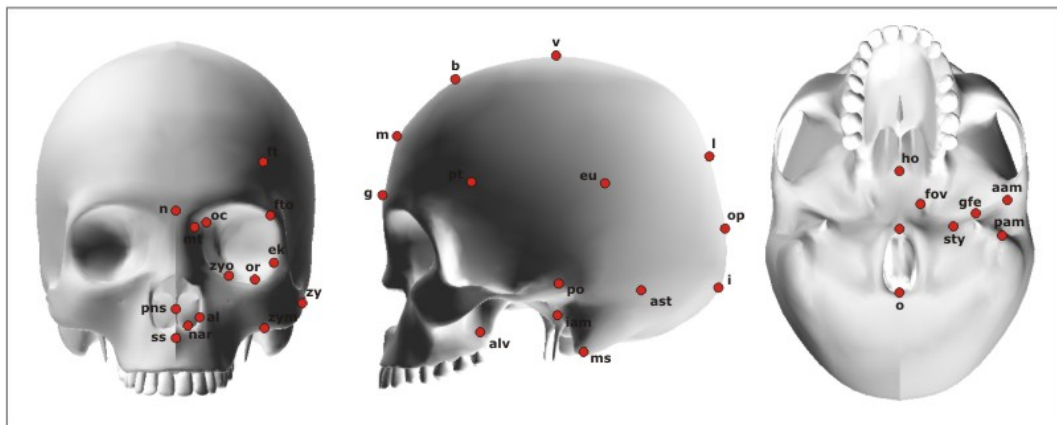


Figura 3.12: *Landmarks* craniofaciais.

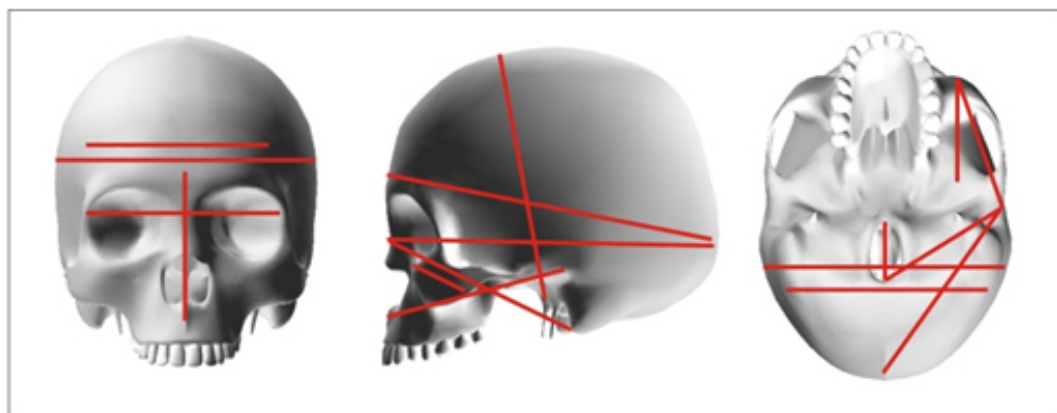


Figura 3.13: Medidas craniofaciais.

Até o desenvolvimento da genética moderna, a pesquisa antropológica de passado e presente da população humana estava concentrada no estudo dos restos mortais, porque esses

constituíam-se os únicos materiais persistentes (MARTÍNEZ-ABADÍAS, 2007). Com o desenvolvimento de abordagens genéticas e moleculares para o estudo de populações humanas, a mistura entre populações humanas têm sido estudadas por marcadores moleculares. Tais marcadores, como proteínas do sangue e polimorfismos genéticos, presumivelmente considerados como caracteres neutros, têm a vantagem de não serem afetados pelo ambiente. No entanto, poucos esforços têm sido feitos para testar os níveis de mistura de características quantitativas (MARTÍNEZ-ABADÍAS; GONZÁLEZ-JOSÉ; GONZÁLEZ-MARTÍN, 2006). Caracteres quantitativos são características que apresentam variação contínua ou quase contínua e podem ser medidos em uma escala métrica. Essas características, entre as quais estão: peso, estatura, medidas do crânio e corporais, presumivelmente são controladas por um grande número de loci de genes com pequenos efeitos aditivos (MARTÍNEZ-ABADÍAS, 2007). Apesar das críticas, alguns pesquisadores continuaram a trabalhar com características craniométricas para estudarem as populações humanas, e mostram que, apesar do fato de serem afetadas por influências ambientais, as variações craniométricas refletem os padrões subjacentes de estrutura populacional e história. Daí, conclui-se que as características craniofaciais podem ser utilizadas para inferir as relações genéticas entre populações humanas (MARTÍNEZ-ABADÍAS, 2007).

Nos últimos anos, as características quantitativas, tais como traços craniométricos têm sido incorporados com sucesso em modelos genético-populacionais, a fim de fornecer informações sobre a estrutura das populações humanas. Esses estudos têm fornecido fortes evidências de que a variância genética pode ser inferida a partir de variância fenotípica devido à alta correlação entre variâncias genéticas e fenotípicas (MARTÍNEZ-ABADÍAS; GONZÁLEZ-JOSÉ; GONZÁLEZ-MARTÍN, 2006). No entanto, pouco se sabe sobre o grau de influências genéticas e não-genéticas sobre a expressão fenotípica. Um tópico importante é, portanto, o de hereditariedade de características complexas e suas métricas. A capacidade de herdar, no sentido restrito, é um parâmetro importante em modelos de evolução de características quantitativas e constitui uma medida da proporção da variância em uma característica explicada pela transmissão genética (MARTÍNEZ-ABADÍAS, 2007). O meio ambiente desempenha um papel importante de integração, uma vez que favorece a seleção de traços funcionais relacionados, que envolve como uma única unidade coordenada. A complexidade desses mecanismos dificulta a exploração da saída básica fenotípica esperada sob o efeito de um determinado agente microevolutivo, como fluxo gênico (MARTÍNEZ-ABADÍAS; GONZÁLEZ-JOSÉ; GONZÁLEZ-MARTÍN, 2006). Portanto, a questão não é se a morfologia das características quantitativas estão sujeitas a influências ambientais ou não, mas se as influências ambientais são penetrantes sobre influências genéticas (MARTÍNEZ-ABADÍAS, 2007).

3.3 Adaptação de Medidas de Personagens Virtuais

Neste trabalho, medições são tratadas como genes que controlam a construção dos modelos utilizados na simulação. As medidas são tomadas de acordo com conceitos da antropometria, que nesta seção, são resumidos. Também são descritas as técnicas utilizadas para

seleção de medições e aplicação de deformações nos modelos das criaturas.

3.3.1 Antropometria

Como foi descrito na Seção 2.2, Antropometria é a ciência que estuda as medidas e proporções do corpo humano. Medições humanas requerem um conjunto de pontos, denominados *landmarks*, bem definidos sobre o corpo (Figura 3.14) (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998).

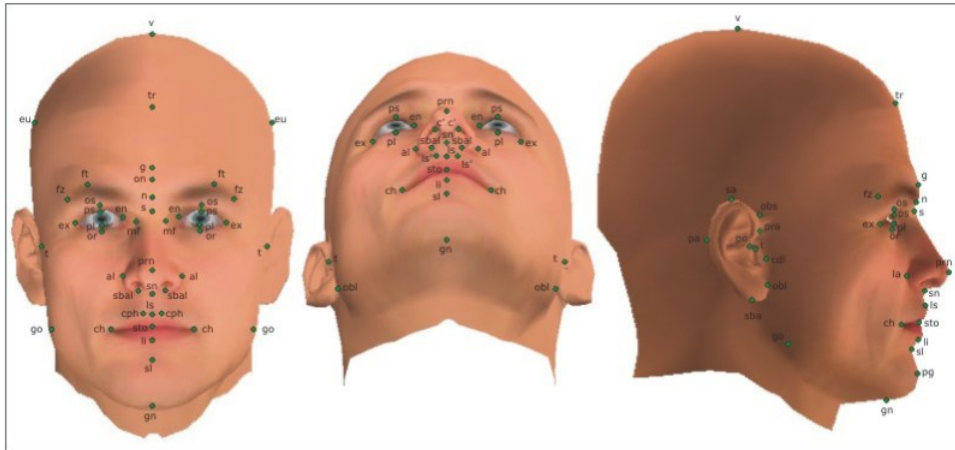


Figura 3.14: Alguns *landmarks* faciais.

As medições utilizadas em antropometria (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998; FARKAS, 1994) são de cinco tipos (Figura 3.15): a menor distância entre dois pontos de referência, por exemplo, ex-en; a distância axial entre dois pontos de referência, por exemplo, v-tr; a distância geodésica entre dois pontos de referência, por exemplo, ch-t; o ângulo entre uma reta definida por pontos de referência e um dos eixos coordenados, por exemplo, a inclinação do ouvido; e o ângulo entre dois alinhamentos de pontos, por exemplo, o ângulo mentocervical.

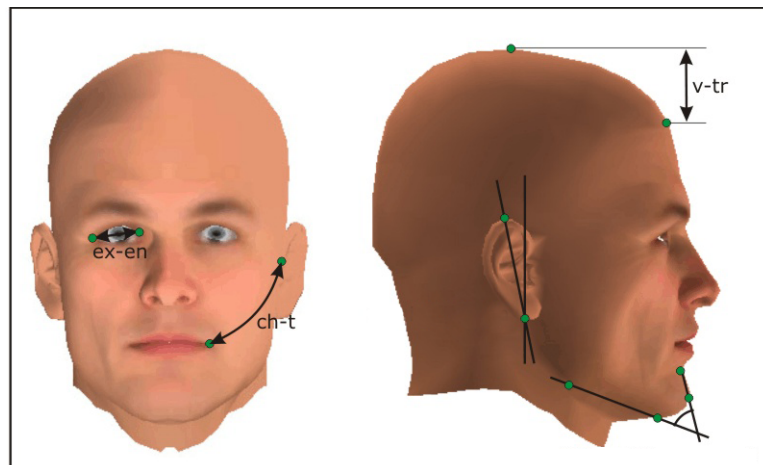


Figura 3.15: Medidas baseadas em *landmarks*.

Medições do rosto e do corpo humano vem sendo estudadas há décadas, resultando em bases de dados que fornecem as características marcantes de indivíduos de diferentes idades, grupos étnicos e sexo (KOLAR; SALTER, 1997; TILLEY; ASSOCIATES, 2002). A Figura 3.16 mostra algumas medidas do corpo.

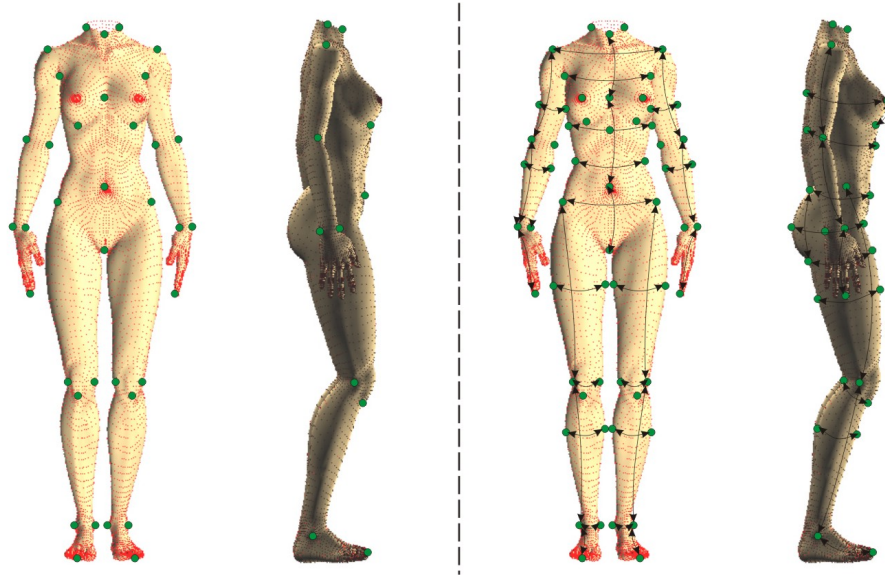


Figura 3.16: Alguns *landmarks* antropométricos e medidas corporais.

Neste trabalho, são utilizadas medidas do tipo ex-en (menor distância entre dois pontos) que são tratadas como genes. A seguir, é descrito o modelo geral de deformação de medidas adotado para ajustar as medidas dos modelos de acordo com as informações armazenadas em seus genes.

3.3.2 Manipulação de Medidas Faciais

O sistema de deformação proposto faz uso de zonas de influência para ajustar os vértices da malha triangularizada dos modelos. Noh e seus coautores (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000) utilizaram o conceito de zonas de influência para a geração de expressões faciais. No entanto, existem diferenças importantes entre sua abordagem e a utilizada neste trabalho. Noh utiliza uma abordagem com uma região de influência fixa da face, delimitada manualmente pelo usuário, em que vértices selecionados movem-se dentro dessa região, a fim de deformar o seu entorno. Definida a região de influência e deslocado o vértice de controle, é aplicado o método de *Radial Basis Functions* (RBF) para definir as posições dos vértices vizinhos que encontram-se dentro da região delimitada. Os vértices que estão fora da zona não se movem (Figura 3.17). Quando se desloca o vértice para fora da zona de influência, é possível gerar descontinuidades.

O sistema de adaptação de medidas desenvolvido neste trabalho foi concebido para ser simples e genérico, e para ser usado com qualquer malha triangularizada. A manipulação de medidas consiste em combinar operações de translação e escala, utilizando zonas de influência esféricas, posicionado-as e dimensionado-as, para cobrir áreas que precisam ser

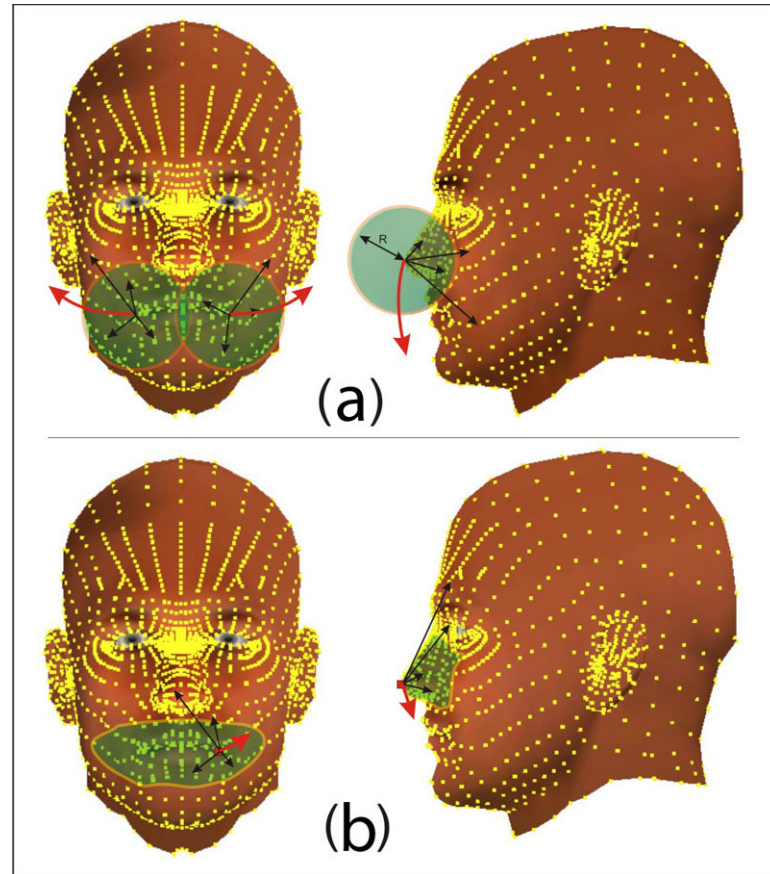


Figura 3.17: Sistema de deformação por zonas de influência. (a) Sistema proposto. (b) Sistema desenvolvido por (NOH; FIDALEO; NEUMANN, 2000)

ajustadas. Nesse método, não é necessário utilizar vértices de controle de deformação, nem o centro da esfera de influência necessita coincidir com um vértice da malha. Pelo contrário, é a esfera de influência que se move, forçando os vértices internos a ajustarem suas posições. O método funciona como se o centro da esfera fosse um vértice da malha, e seu movimento mudasse a posição da zona de influência, resolvendo assim o problema de possíveis descontinuidades descrito por Noh. O sistema é simples e flexível, produzindo resultados satisfatórios. A manipulação por translação das zonas de influência é ilustrada na Figura 3.19 e descrita nas equações 3.1 a 3.4, a seguir, bem como na Figura 3.18, em forma algorítmica:

$$\mathbf{x}_i(t + \delta t) = \mathbf{x}_i(t) + \delta \mathbf{v} \cdot f_i(t) \quad (3.1)$$

onde

$$f_i(t) = \begin{cases} \left| \frac{R - \|\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_c(t)\|}{R} \right| & \text{se } \|\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_c(t)\| < R \\ 0 & \text{se } \|\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_c(t)\| \geq R \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\mathbf{x}_c(t) = \mathbf{x}_c(0) + t \cdot \mathbf{v} \quad 0 \leq t \leq 1 \quad (3.3)$$

x_c é o centro da esfera e R é o raio.

$$\delta \mathbf{v} = \frac{1}{N} \cdot \mathbf{v} \quad (3.4)$$

A translação aplicada é resultado de incrementos divididos em N etapas, conforme Equação 3.4 (o algoritmo na Figura 3.18 descreve apenas um dos passos). Para cada etapa, o algoritmo é aplicado novamente para recalculer a nova posição dos vértices. Na Figura 3.19, duas zonas de influência movem-se em direções opostas, a fim de alterar a largura do nariz. A configuração inicial está representada na Figura 3.19(a), e a configuração final, mostrando as novas posições dos vértices afetados, está representada na Figura 3.19(b).

```

for every  $X[j]$  do
  begin
     $dist = \text{distance between } X[j] \text{ and sphere\_center}$ 
    if  $dist \leq R$  then
      begin
         $X[j].x := X[j].x + V[0] * (R - dist) / R;$ 
         $X[j].y := X[j].y + V[1] * (R - dist) / R;$ 
         $X[j].z := X[j].z + V[2] * (R - dist) / R;$ 
      end;
    end;
  end;

  *  $V = \text{translation vector}$ 
  *  $R = \text{Sphere\_Radius}$ 
  *  $X = \text{vertex}$ 

```

Figura 3.18: Aplicação de zonas de influência, por translação.

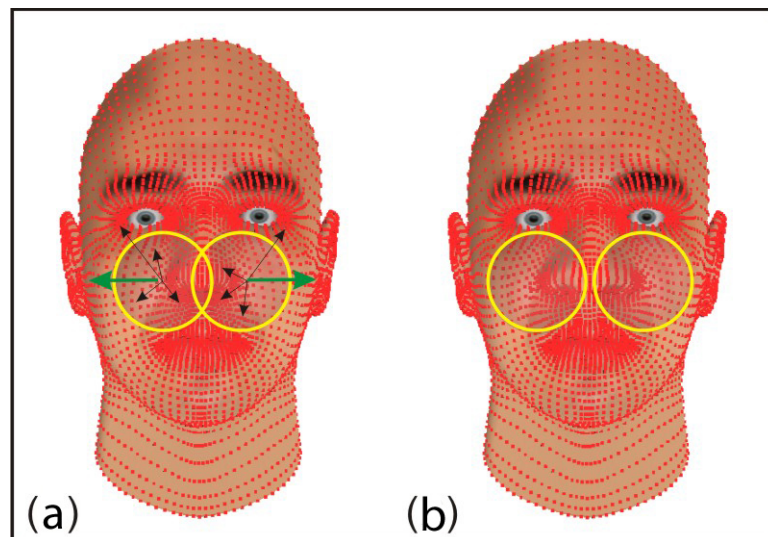


Figura 3.19: Alteração de medida do nariz, por translação. (a) Antes da aplicação. (b) Após a aplicação.

A deformação causada pela zona de influência esférica, em cada passo do movimento, é limitada aos vértices da malha que estão estritamente dentro da zona de influência. A

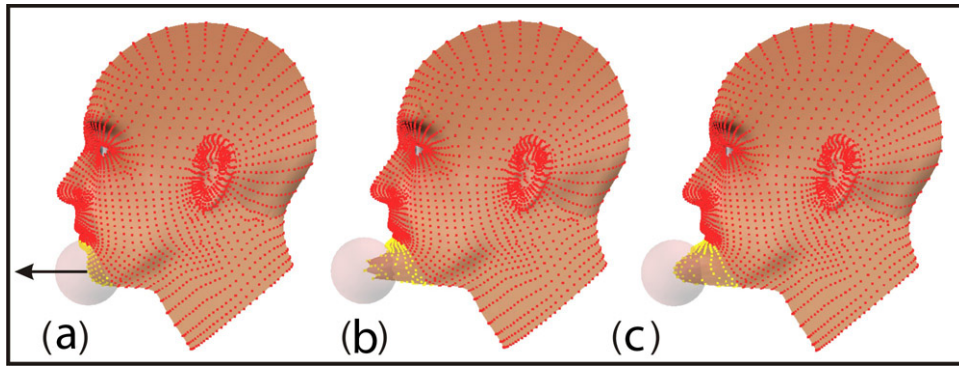


Figura 3.20: Deformação do queixo por translação. (a) Posição inicial (t_0). (b) Translação por passo único. (c) Translação gradual.

deformação é mais acentuada em pontos que estão mais próximas ao centro da esfera e é exatamente zero na borda da esfera. A Figura 3.20 mostra dois diferentes resultados para a deformação de translação: Figura 3.20(a) mostra a posição inicial (t_0) da zona de influência esférica e a Figura 3.20(b) mostra o resultado, ao mover a esfera para a posição final em uma única etapa. Neste caso, vértices localizados dentro da esfera, em sua posição inicial, irão sofrer uma translação proporcional a suas distâncias em relação ao centro da esfera, antes da translação. Como pode ser observado, o resultado é descontínuo – um comportamento semelhante ao de uma região fixa, onde apenas os vértices dentro da esfera sofrem movimento a partir da posição inicial. A Figura 3.20(c) mostra o resultado final (mesma translação utilizada na Figura 3.20(b)) obtido pela aplicação da translação total com incrementos. Assim, quando a zona de influência move-se em pequenos incrementos (simulando um movimento contínuo), alguns vértices lentamente podem entrar pela fronteira da esfera, e seus deslocamentos são suavemente aumentados à medida que aproximam-se do centro da zona de movimento. Outros vértices lentamente saem da zona de movimento e finalizam seu movimento. Este tipo de ajuste gera deformações com transição suave entre as regiões dentro e fora da zona de influência. Os raios das zonas de influência também podem variar quando for necessário englobar uma área maior ou menor do modelo manipulado.

A manipulação por zonas de influência de escala (também dividida em N etapas) é ilustrada na Figura 3.21 e descrita pelas equações 3.5 a 3.8, bem como na Figura 3.23, em forma algorítmica. No exemplo mostrado na Figura 3.21, uma medida do nariz é alterada pela aplicação de escala na sua zona de influência. As Figuras 3.21(a) e 3.21(b) ilustram, respectivamente, a situação inicial e a posição dos vértices após dimensionamento da zona de influência. A Figura 3.22 ilustra o efeito de redução de escala aplicado à região em torno da boca.

$$\mathbf{x}_i(t + \delta t) = \mathbf{x}_i(t) + \delta \mathbf{v}_i(t) f_i(t) \quad (3.5)$$

onde

$$\delta \mathbf{v}_i(t) = \mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_c \quad (3.6)$$

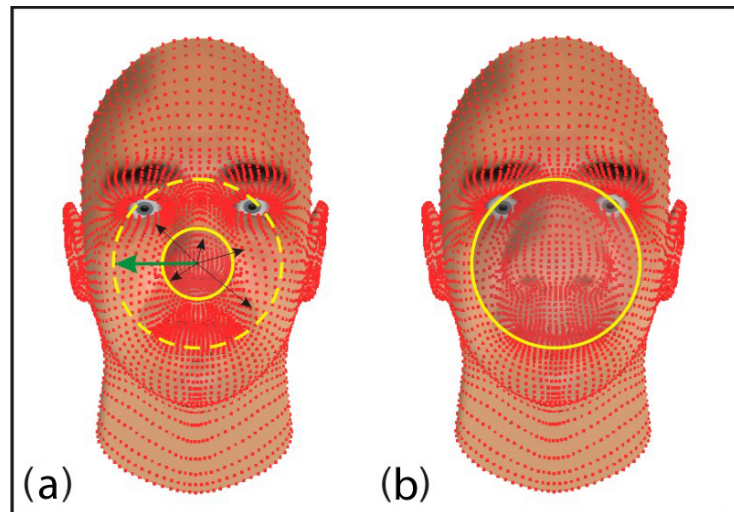


Figura 3.21: Alteração de medida do nariz por escala. (a) Antes da aplicação. (b) Após a aplicação.

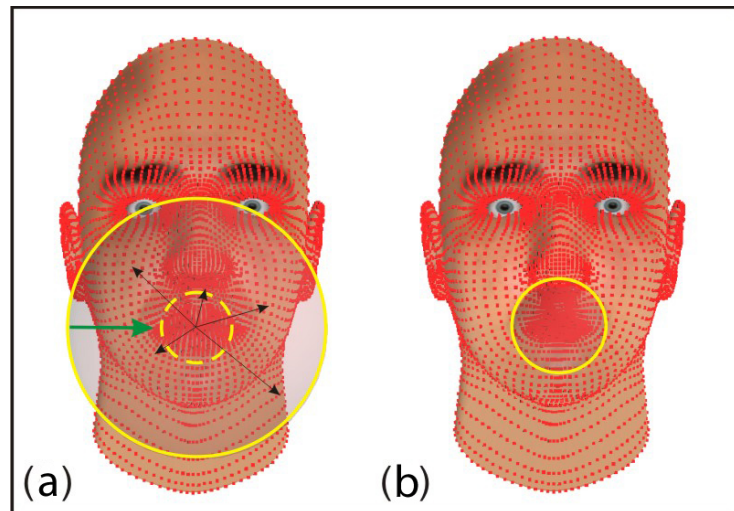


Figura 3.22: Alteração de medida da boca por escala. (a) Antes da aplicação. (b) Após a aplicação.

$$f_i(t) = \begin{cases} S \cdot \left| \frac{R(t) - \|\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_c\|}{R(t)} \right| & \text{se } \|\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_c\| < R(t) \\ 0 & \text{se } \|\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_c\| \geq R(t) \end{cases} \quad (3.7)$$

$$R(t) = R_0 + t(R_n - R_0) \quad (3.8)$$

S é o fator de escala e R é o raio da esfera.

A Figura 3.24 ilustra alguns efeitos que podem ser obtidos com manipulação de escala. A Figura 3.24(a) mostra o posicionamento inicial de uma zona de influência esférica com o seu raio original. A Figura 3.24(b) mostra o resultado de uma manipulação de escala em uma etapa única, e a Figura 3.24(c) mostra os resultados de uma alteração de escala gradual. A análise desses tipos de manipulação de escala é semelhante às de translação em etapa única e gradual.

```

for every  $X[j]$  do
  begin
     $dist = \text{distance between } X[j] \text{ and sphere\_center}$ 
    if  $dist \leq R$  then
      begin
         $X[j].x := X[j].x + (X[j].x - X_c.x) * scale * ((R - dist) / R);$ 
         $X[j].y := X[j].y + (X[j].y - X_c.y) * scale * ((R - dist) / R);$ 
         $X[j].z := X[j].z + (X[j].z - X_c.z) * scale * ((R - dist) / R);$ 
      end;
    end;

  *  $X = \text{vertex}$ 
  *  $X_c = \text{sphere}$ 
  *  $R = \text{Sphere\_Radius}$ 

```

Figura 3.23: Aplicação de zonas de influência por escala.

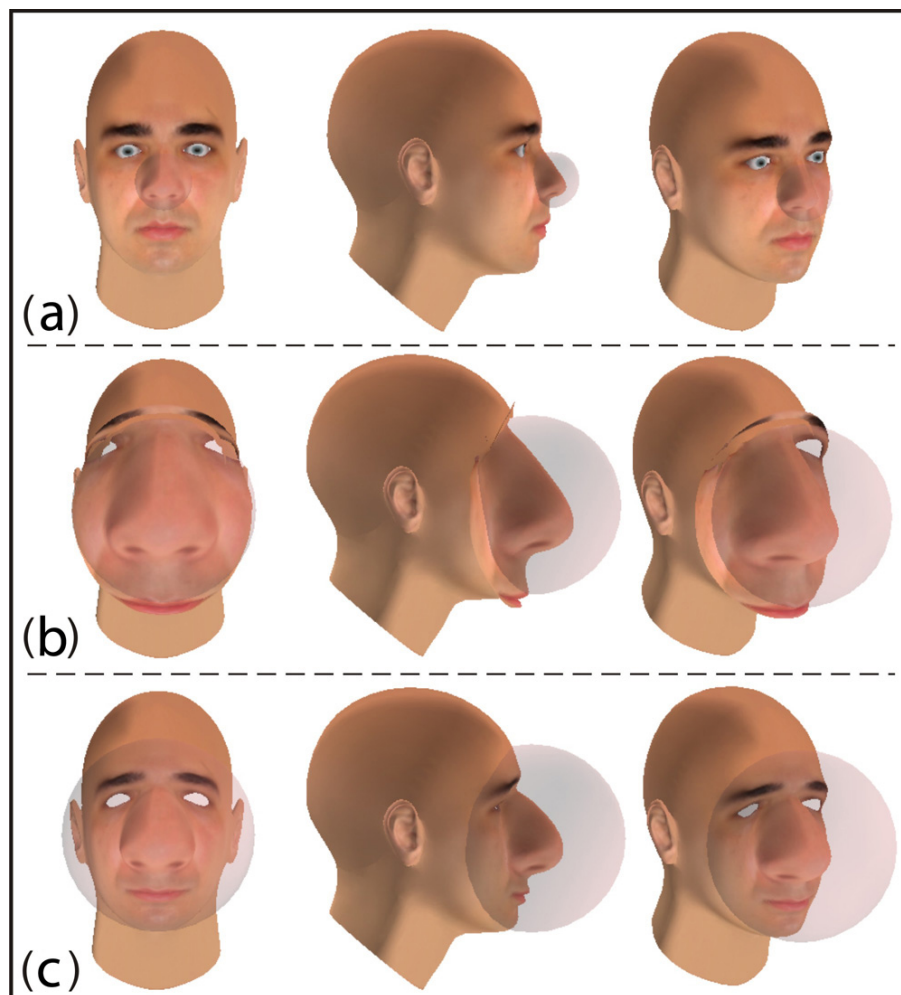


Figura 3.24: Escala do nariz. (a) Raio inicial (t_0). (b) Escala por passo único. (c) Escala gradual.

Observe que, à medida que a esfera é transladada ou escalonada, alguns vértices que estão perto da fronteira da zona de influência saem da esfera, enquanto alguns entram (Figura

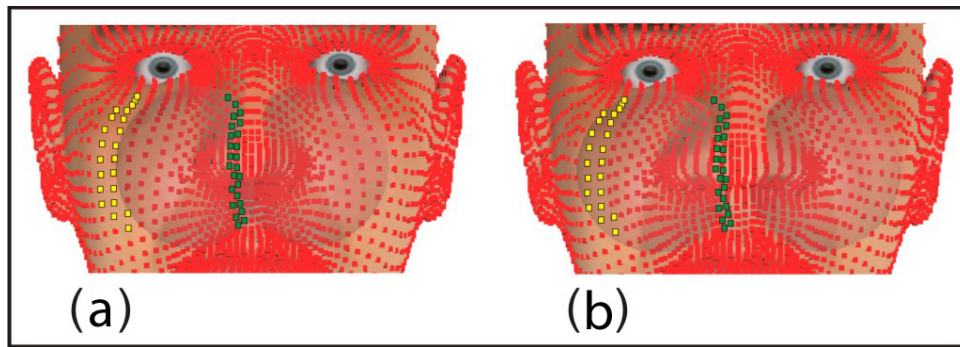


Figura 3.25: Zonas de influências móveis.

3.25). Na Figura 3.25, os pontos mostrados em amarelo entram na zona de influência, após esta mover-se para a posição indicada na Figura 3.25(b). Da mesma forma, os pontos destacados em verde saíram da zona de influência após a translação da esfera. Esse sistema de movimento gradual de zonas de influência não apresenta descontinuidade.

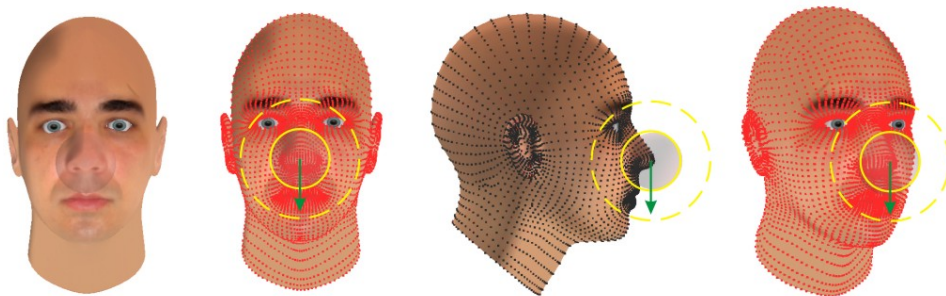


Figura 3.26: Otimização no sistema de deformação.

Para reduzir a busca para os vértices que se encontram dentro da esfera de influência, é feita uma otimização como ilustrado na Figura 3.26. No início da translação ou escala da esfera, é definida uma segunda esfera com um raio superior ao raio da esfera de influência e com o mesmo centro. Os vértices internos deste segunda esfera são armazenados e utilizados como a busca para a adaptação por translação ou escala, eliminando o custo de busca de vértices distantes que nunca seriam afetados pela região a ser adaptada. A esfera de influência move-se ou altera sua escala e a segunda esfera mantém-se fixa. Se a esfera de influência ultrapassa o campo da segunda esfera, um outro conjunto de vértices é calculado, centrado a segunda esfera de novo com o centro da esfera de influência ou ampliando seu raio, caso a adaptação seja por escala. Esta otimização aumenta consideravelmente a performance das simulações apresentadas nos capítulos a seguir.

3.3.3 Manipulação de Medidas Corporais

Ao aplicar ajustes para medições do corpo, é possível utilizar a mesma translação de esferas de influência descrita anteriormente. Na Figura 3.27, a largura dos ombros é alterada movendo duas zonas de influência, centradas em pontos na região do ombro do modelo. A Figura 3.27(b) ilustra a posição inicial e as figuras 3.27(a) e 3.27(c) ilustram

duas possibilidades (aumentando ou diminuindo a medida) para uma posição final, após o ajuste dos vértices da região afetada.

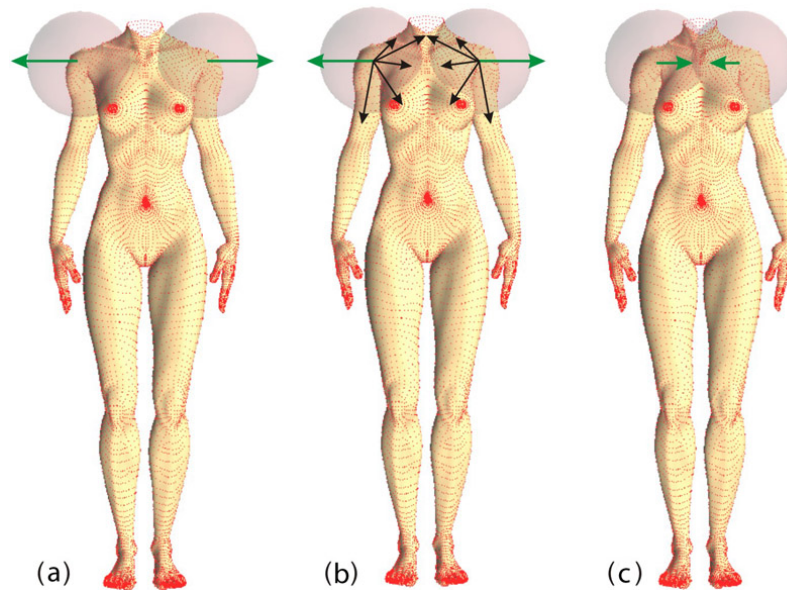


Figura 3.27: Aplicação de translação, na região dos ombros.

Da mesma forma, é possível utilizar a escala de esferas de influência descrita anteriormente. Na Figura 3.28, a largura do quadril é alterada com a expansão da esfera, centrada em um ponto médio da região a ser modificada. A Figura 3.28(a) ilustra a posição inicial e a Figura 3.28(b) ilustra o resultado final após o ajuste dos vértices da região afetada.

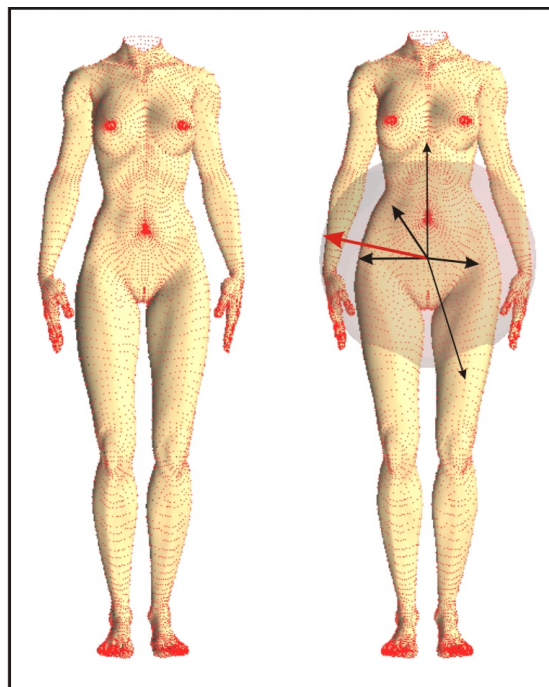


Figura 3.28: Aplicação de escala, na região do quadril.

Em alguns casos, é necessário utilizar um tipo diferente de deformação. Medições dos

braços, das pernas, do pescoço e de outras partes devem utilizar uma zona de influência cuja forma funciona mais como uma deformação cilíndrica. Nestes casos, também é necessário isolar regiões para que os ajustes não sejam feitos em vértices indesejados. Para isolar regiões, é feita a seleção de vértices (Figura 3.29) utilizando um sistema simples de busca por pontos que encontram-se no interior de uma janela de seleção.

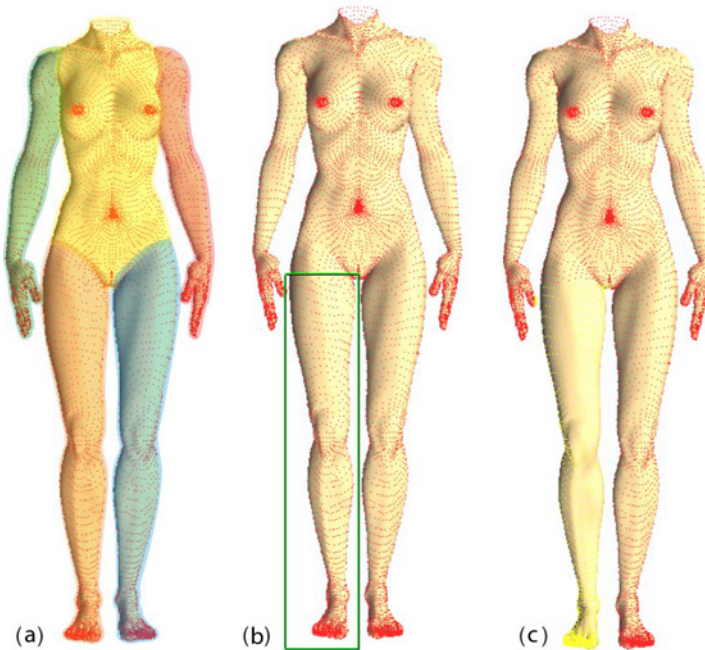


Figura 3.29: Seleção de vértices para isolamento de regiões.

A Figura 3.30 ilustra a manipulação de uma medição da perna. A fim de aumentar o comprimento da coxa, tomam-se os dois *landmarks*, P_0 e P'_0 , que definem essa medida (Figura 3.30(b)).

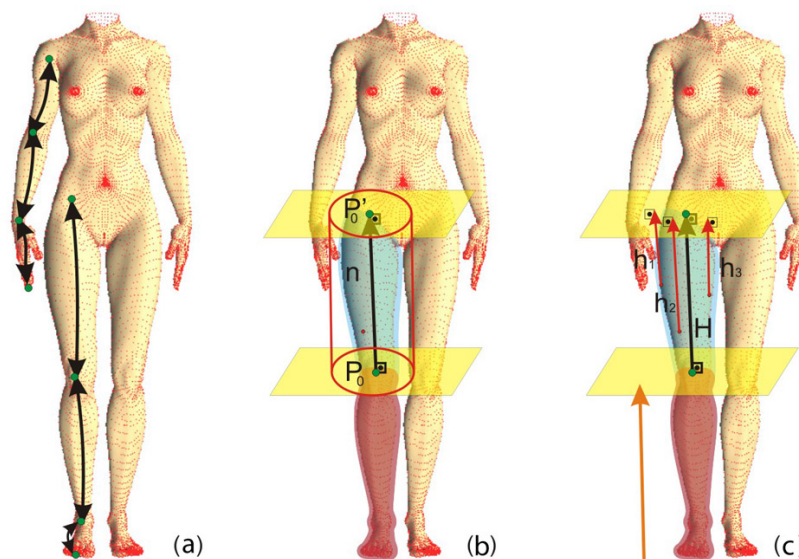


Figura 3.30: Aplicação de uma deformação por zona de influência cilíndrica.

Com os dois *landmarks*, é definido um vetor \mathbf{n} que estabelece a direção do movimento. Depois disso, é necessário encontrar as equações dos planos que são perpendiculares ao vetor \mathbf{n} .

Sejam \mathbf{r}_0 o vetor posição do ponto P_0 no plano, e \mathbf{n} o vetor normal ao plano. Assim, a equação do plano é dada por

$$\mathbf{n} \cdot (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) = 0 \quad (3.9)$$

que pode ser escrita na forma

$$n_x(x - x_0) + n_y(y - y_0) + n_z(z - z_0) = 0. \quad (3.10)$$

O mesmo procedimento é feito para encontrar o plano paralelo que contém o ponto P'_0 . Com a altura do cilindro e os planos superior e inferior, é possível encontrar a distância entre um vértice e o plano que contém o ponto P'_0 (Figura 3.30(c)) e compará-la com a altura do cilindro, por meio da Equação 3.11.

Dados um plano $ax + by + cz + d = 0$ e um ponto $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$, a distância desse ponto ao plano é dada por:

$$D = \frac{|ax_1 + by_1 + cz_1 + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}. \quad (3.11)$$

Agora a mesma idéia da esfera de influência esférica é aplicada, porém utilizando a proporção das distâncias dos vértices ao plano que contém o ponto P'_0 . Neste caso, os vértices da região vermelha (Figura 3.30(c)) estão ligados ao *landmark* do ponto P_0 . Eles são movidos com este ponto, de modo que apenas a medição da região azul é ajustada. Portanto, todas as partes do corpo estão ligadas. Quando uma parte se move, as outras partes ligadas seguem o movimento.

Aplicando as deformações às partes superior e inferior da perna, são obtidos os resultados mostrados na Figura 3.31.



Figura 3.31: Alguns resultados na deformação da perna.

3.3.4 Considerações Finais

Com os conceitos abordados é possível entender por que existe uma grande variabilidade de combinações de características nas espécies. Particularmente nos seres humanos, dificilmente encontram-se indivíduos com várias características físicas muito parecidas (quase idênticas), salvo os casos de gêmeos univitelinos. A abordagem proposta neste trabalho baseia-se nesses processos biológicos, para simular o processo de geração de personagens virtuais, garantindo variabilidade e identificação de traços que identificam famílias e populações distintas. A variabilidade de modelos é crescente, à medida que aumenta-se o número de características combinadas. Para aplicar as medidas e gerar o modelo resultante, foi definido o método de deformação, baseado em zonas de influência. Trata-se de um sistema simples e genérico de deformação em malhas triangularizadas, possibilitando a sua utilização em modelos com diversas características físicas, sem necessidade de adaptações específicas ao novo modelo. Nos próximos capítulos são definidas o modelo conceitual do processo reprodutivo juntamente com a arquitetura do sistema e os estudos de casos. Em seguida são definidos os métodos de manipulação de personagens virtuais, com a manipulação corporal, geração de expressões e caricaturas. Tanto a simulação do processo reprodutivo, como os métodos de manipulação utilizam o sistema de deformação descrito neste capítulo.

4 REPRODUÇÃO DE PERSONAGENS VIRTUAIS

4.1 Introdução

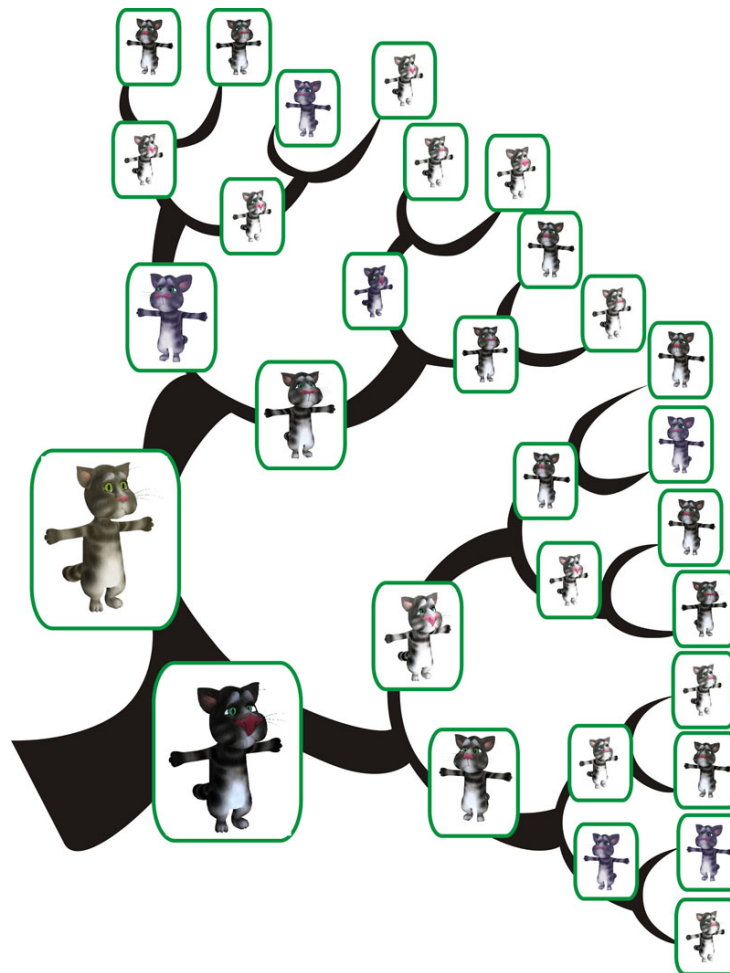


Figura 4.1: Árvore genealógica simulando uma família de gatos.

Em muitas aplicações de realidade virtual e jogos de computador, é necessário preencher os ambientes com personagens virtuais. A geração de modelos realistas que atendam às necessidades atuais demandadas pelas novas tecnologias e aplicações tornou-se um grande desafio. Desafios adicionais são colocados por aplicativos, como jogos de simulação de vida e mundos virtuais baseados na Internet, que exigem a simulação de parentesco e de

interação entre populações isoladas de diferentes tipos de criaturas com características étnicas bem definidas. Às vezes, o povoamento de um ambiente virtual é um processo que ocorre de forma dinâmica durante a execução de aplicativos. Quando as populações com diferentes características étnicas são colocados em contato, devido à migração, por exemplo, é razoável esperar que, ao longo do tempo, as populações originais misturem-se e que a população resulte em descendentes com características mistas (características geneticamente determinadas) de seus antepassados.

Os estudos de casos apresentados neste capítulo ilustram o processo geral, descrito no modelo conceitual definido na Seção 4.2, através da geração de rostos humanos e modelos incluindo rosto e corpo de diferentes criaturas, resultando em árvores genealógicas de famílias de personagens (Figura 4.1).

4.2 Modelo Conceitual do Processo Reprodutivo de Seres Diploides

Reprodução diploide é um tipo de reprodução que resulta em indivíduos cujas células têm duas cópias de cada cromossomo, uma da mãe e outro do pai. Nesta seção é descrito o modelo conceitual do processo biológico para a geração de personagens virtuais.

4.2.1 Identificação de Características Genéticas

Cada característica genética de um ser vivo é codificada como uma cadeia química chamada gene. Um conjunto de genes é armazenado em uma estrutura chamada de cromossomo. Em seres diploides, cada cromossomo está emparelhado com o seu cromossomo homólogo (um cromossomo com o mesmo conjunto de genes). Nos seres humanos, por exemplo, existem 23 pares de cromossomos. Genes correspondentes nos cromossomos homólogos (genes que ocupam a mesma posição no cromossomo) são chamados alelos.

O primeiro passo do método é escolher as características que serão utilizadas na construção de um personagem virtual. Cada uma dessas características (comprimento dos membros, as medições da cabeça, dos olhos, do nariz, da boca, das orelhas, do queixo, e assim por diante) pode ser vista como uma informação que constrói parte do modelo e é representada como um gene.

4.2.2 Armazenamento de Informações Genéticas

Uma vez que o número total, n , de genes foi definido na etapa 1, a próxima coisa a definir é o número m de pares de cromossomos, e distribuir os n pares de genes alelos entre os m pares de cromossomos. Seja C o conjunto de pares, c_i , de cromossomos homólogos,

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}. \quad (4.1)$$

Cada par de cromossomos, c_i , consiste de dois cromossomos homólogos: cromossomos c_i^M originado do progenitor masculino, e cromossomo c_i^F do progenitor feminino. Assim,

$$c_i = (c_i^M, c_i^F). \quad (4.2)$$

Neste modelo, o número de genes por cromossomo não tem que ser o mesmo para todos os cromossomos. Por isso, denotando n_i o número de genes no cromossomo i , as estruturas de dados para os cromossomos homólogos em c_i são,

$$\begin{aligned} c_i^M &= \{g_{i1}^{M_1}, g_{i2}^{M_2}, \dots, g_{in_i}^{M_i}\}, \\ c_i^F &= \{g_{i1}^{F_1}, g_{i2}^{F_2}, \dots, g_{in_i}^{F_i}\}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

O número total de genes, n , é a soma do número de genes em cada cromossomo

$$n = \sum_{i=1}^m n_i. \quad (4.4)$$

A escolha de m tem uma influência direta sobre a variabilidade dos descendentes, uma vez que contribui para o aumento de possibilidades de combinação durante a meiose - processo biológico de divisão celular para a geração de gametas (Seção 4.2.4).

Nota-se também que, na Equação 4.3, M_k assume o valor M se o gene $g_{ik}^{M_k}$ for oriundo de um segmento c_i do avô paterno e assume o valor F se o gene $g_{ik}^{M_k}$ for oriundo de um segmento c_i da avó do lado paterno. Da mesma maneira, F_k assume o valor M se o gene $g_{ik}^{F_k}$ for oriundo de um segmento c_i do avô materno e assume o valor F se o gene $g_{ik}^{F_k}$ for oriundo de um segmento c_i da avó pelo lado materno. Essa identificação é feita para que seja possível fazer o rastreamento dos genes herdados. Em um dos estudos de casos (Seção 4.4) é feito o mapeamento da estrutura genética de dois modelos, indicando a origem de todos os seus genes.

4.2.3 Geração de Gametas

Células especializadas, chamadas células germinativas, sofrem um processo de divisão celular chamado meiose que resulta em quatro gametas. Nos seres humanos, por exemplo, as células germinativas masculinas são transformadas em quatro espermatozoides após a meiose, enquanto que as células germinativas femininas são transformadas em quatro óvulos. Simulando, várias vezes, a meiose de células germinativas, são construídos um conjunto de espermatozoides e outro de óvulos. Para fins de simulação, o número total de processos que constituem a meiose é reduzido a apenas quatro processos (Figura 4.2). Primeiro, há um processo de duplicação de cromossomos (parte central da Figura 4.2(a)). Segundo, dentro de cada par de cromossomos duplicados, as trocas aleatórias de segmentos podem ocorrer - o chamado *crossover* (parte superior da Figura 4.2(a)). Terceiro, os pares de cromossomos duplicados estão alinhados aleatoriamente no plano do equador da célula -

esta é a Metáfase I (Figura 4.2(b)). A Figura 4.2(c) ilustra que a célula original é dividida em duas células. Observe que os pares de cromossomos que foram posicionados acima do plano do equador tornam-se parte de uma nova célula, e os pares de cromossomos correspondentes, que se situavam abaixo do plano do equador, ficam juntos em outra célula. Quarto, em cada uma das duas novas células, os pares de cromossomos são, mais uma vez, aleatoriamente alinhados no plano do equador da célula - Metáfase II (Figura 4.2(d)), e cada uma dessas duas células é dividida em duas. No final da meiose, quatro novas células haploides são geradas - uma célula haploide tem a metade do número de cromossomos de uma célula diploide (Figura 4.2(e)).

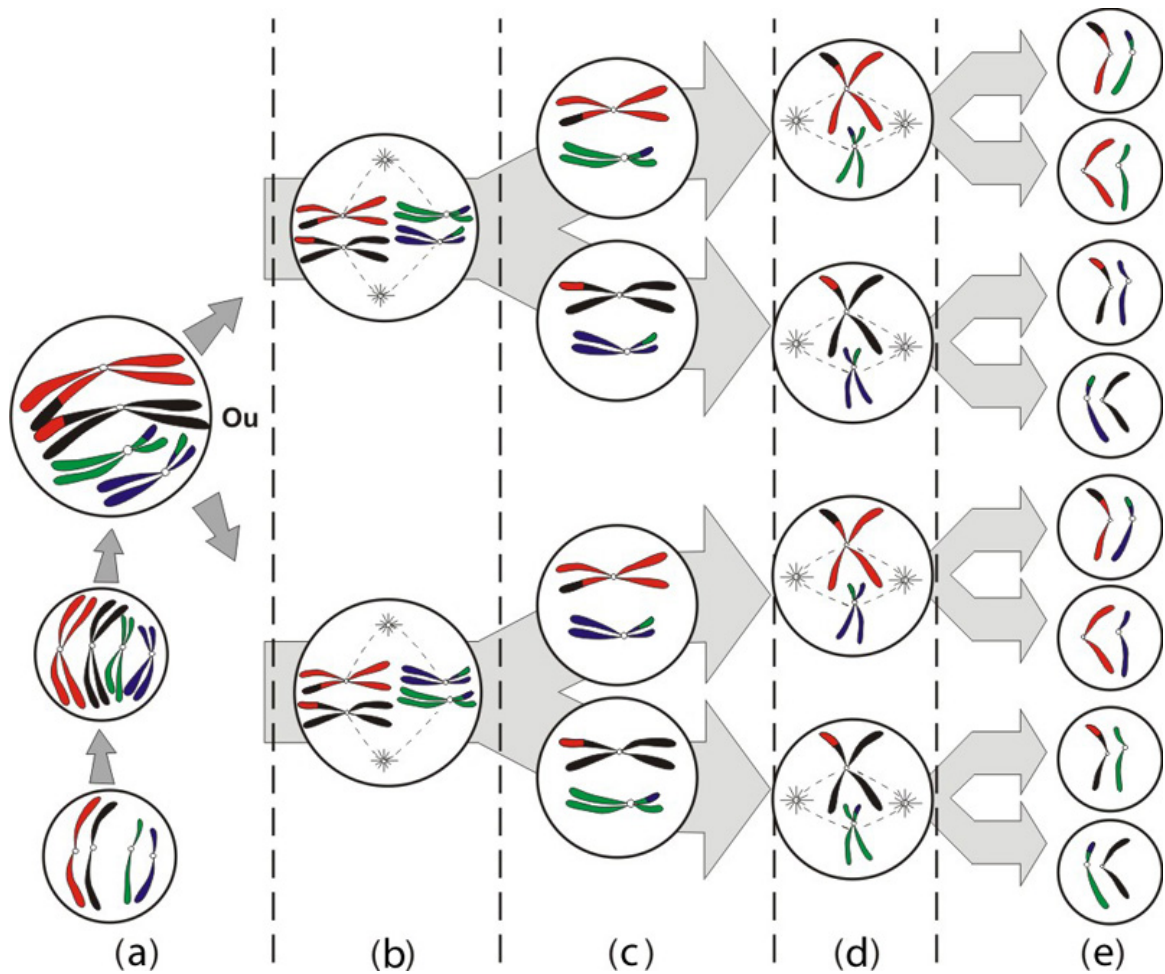


Figura 4.2: Etapas da meiose. (a) Duplicação de cromossomo e *crossover*, (b) simulação das metafase I e (d) metafase II.

Duplicação de Cromossomos

Cada par de cromossomos homólogos é transformado em quatro cromossomos (dois pares idênticos – Equação 4.5). O cromossomo original e sua réplica – a chamada cromátide irmã – estão emparelhados com o cromossomo homólogo original e sua cromátide irmã:

$${}^d c_i (c_i^M c_i^M, c_i^F c_i^F). \quad (4.5)$$

Crossover

A Figura 4.3 ilustra este processo. Na Figura 4.3(a), o par de cromossomos original (cromossomo azul-vermelho-amarelo e cromossomo verde-marrom-roxo) é mostrada em seu estado duplicado – cada cromossomo tem uma cromátide irmã idêntica – com setas pretas indicando o emparelhamento de cromátides. Na Figura 4.3(b), os cromossomos, que foram emparelhados trocam pedaços (cromossomo azul-vermelho-amarelo troca o segmento azul com o segmento verde do cromossomo verde-marrom-roxo). Após o cruzamento, os quatro cromossomos que formavam dois pares idênticos se tornam distintos uns dos outros.

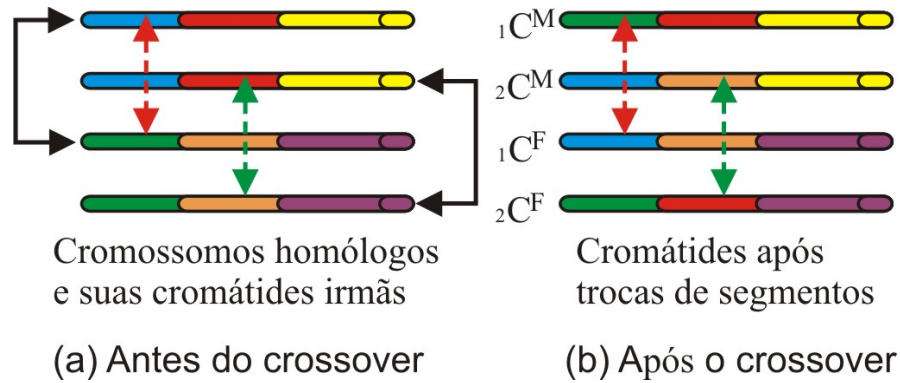


Figura 4.3: *Crossover*.

Na simulação do *crossover*, cada cromossomo c_i^M em um par de cromossomos duplicados ${}^d c_i(c_i^M c_i^M, c_i^F c_i^F)$ troca genes com os seus homólogos c_i^F . Assim, para os cromossomos do par i que têm n_i genes, o número de possíveis trocas é dado por

$$\frac{1}{2} \sum_{k=0}^{n_i} \binom{n_i}{k} = 2^{n_i-1}. \quad (4.6)$$

Após o *crossover*, a estrutura do cromossomo duplicado é dada por

$${}^d c_i(1c_i^M 2c_i^M, 1c_i^F 2c_i^F), \quad (4.7)$$

onde os pares $(1c_i^M, 1c_i^F)$ and $(2c_i^M, 2c_i^F)$ pertencem ao universo de 2^{n_i-1} possíveis pares.

Metáfase I

Para a simulação da Metáfase I, é conveniente reescrever a Equação 4.7 como

$${}^d c_i({}^d c_i^M, {}^d c_i^F). \quad (4.8)$$

Considerando a distribuição aleatória de pares com relação à estrutura básica do alinhamento dos m pares de cromossomos, onde os m cromossomos ${}^d c_i^M$ estão em um lado e os m cromossomos ${}^d c_i^F$ estão no outro lado do plano do equador da célula. Assim, as duas células geradas no final deste processo, pertencem a um universo de 2^{m-1} pares distintos de células.

Metáfase II

As duas células geradas após a Metáfase I são divididas mais uma vez, gerando quatro gametas. Em cada uma das duas células geradas durante a Metáfase I da meiose, há um conjunto de m pares de cromátides irmãs, que foram modificadas durante o *crossover*, ou seja, o i -ésimo par pode ser $({}_1c_i^M, {}_2c_i^M)$ or $({}_1c_i^F, {}_2c_i^F)$. Na Metáfase II, estes m pares serão alinhados novamente no equador da célula, e depois separados em duas novas células. O processo de simulação é idêntico ao da Metáfase I. Mais uma vez, o novo par de células geradas a partir da primeira célula pertence a um universo de 2^{m-1} pares distintos. Além disso, o novo par de células geradas a partir da segunda célula, pertence a um universo, diferente, de 2^{m-1} pares distintos. As quatro células geradas são gametas, isto é, cada célula tem m cromossomos.

4.2.4 Fecundação

Se apenas uma simulação de meiose for executada para cada um dos pais, o conjunto de gametas do sexo masculino teria quatro espermatozoides, e o conjunto do sexo feminino, quatro óvulos. Desses pequenos conjuntos, apenas dezesseis filhos distintos seriam gerados, após a fecundação, que é a união das duas células haploides - espermatozoóide e óvulo - para formar uma estrutura de célula diploide do descendente, que tem m pares de cromossomos homólogos. No entanto, a simulação de meiose pode ser executada várias vezes para aumentar os tamanhos de ambos os conjuntos, e o número de filhos distintos possíveis. As características genéticas dos filhos pertencem a um universo de probabilidades que incorpora a natureza aleatória do *crossover*, e os alinhamentos aleatórios das Metáfase I e II. Em seres humanos, isso corresponde a um universo de 10^{600} (STARR; TAGGART, 1995). Após a combinação, o novo conjunto de informações genéticas é utilizado para construir o corpo do filho. Esse processo é ilustrado em estudo de caso da Seção 4.3.3.

4.3 Implementação da Reprodução de Personagens

Nesta seção, serão definidas a arquitetura do sistema de reprodução dos personagens virtuais, o sistema de adaptação geométrica, a simulação de geração de gametas e a forma como as características genéticas são combinadas, para gerar o modelo do descendente.

4.3.1 Arquitetura para a reprodução dos personagens

Configuração do sistema

Para iniciar a simulação, é preciso estabelecer as bases da configuração do sistema (Figura 4.4). Primeiro, deve ser definido o modelo da criatura a ser reproduzida. Neste momento, o modelo é constituído apenas de uma malha triangularizada. O próximo passo é definir o

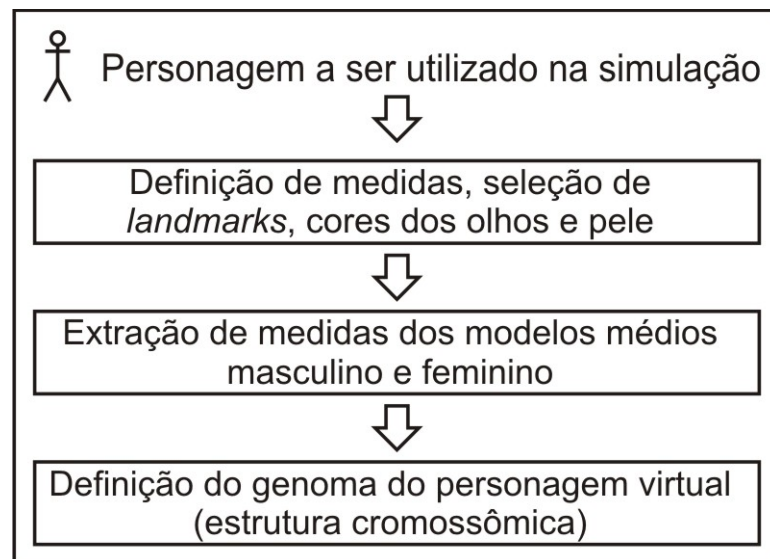


Figura 4.4: Configuração do sistema.

conjunto de medidas faciais e corporais que serão usadas como características genéticas na simulação. Utilizando um sistema básico de *picking*, alguns vértices (*landmarks*) da malha são selecionados para compor a definição das medidas. Juntamente com as medições, também são definidos os raios das esferas de influência para adaptar a malha (sistema de deformação definido na Seção 3.3). Finalmente, são definidas as cores a serem utilizadas para a pele e para os olhos.

Para fazer a transformação de gênero (no caso do descendente ser masculino ou feminino), é necessário definir duas malhas associadas à criatura: uma malha que represente o modelo médio masculino e uma malha que represente o modelo médio feminino. Se a distinção entre masculino e feminino não for necessária, em caso de criaturas sem distinção física definida nos gêneros, pode-se utilizar a mesma malha para os dois gêneros. Caso não exista uma malha definida, que represente esses modelos, é possível calcular o modelo médio dos progenitores iniciais para cada gênero. O uso desses modelos médios é explicado na Seção 4.3.3.

Com todos os traços definidos, é contruído o genoma do personagem, ou seja, o número de cromossomos e a distribuição dos genes dentro de cada cromossomo.

Configuração dos progenitores iniciais

A fim de simular a reprodução das criaturas, é necessário definir as malhas dos modelos iniciais (progenitores masculinos e femininos) (Figura 4.5). Isso pode ser feito através de um software modelador profissional ou adaptando as medidas pelo sistema definido na Seção 3.3 (que pode ser feito de forma aleatória ou por definição do usuário). O importante é que todas as malhas devem ter a mesma topologia, porque um dos passos na simulação (adaptação de gênero) utiliza uma fase de *morphing* com associação ponto-a-ponto, e outros passos utilizam vértices bem definidos, para extrair e adaptar as medidas.

A partir das malhas dos progenitores, é possível acessar a posição dos vértices (*landmarks*),

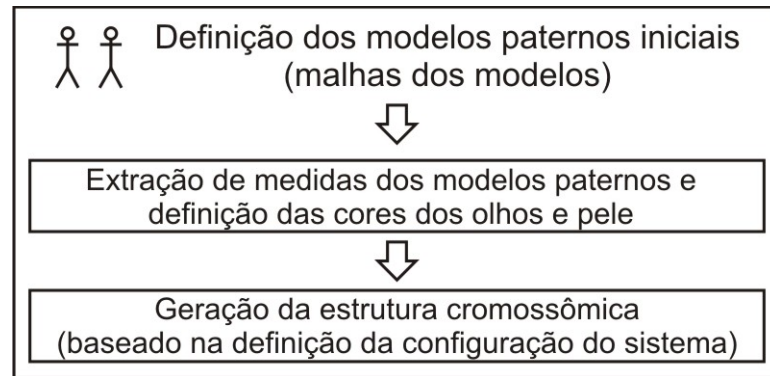


Figura 4.5: Configuração dos progenitores iniciais.

e calcular e salvar as medições definidas na fase de configuração do sistema. Isso é feito automaticamente, pois os modelos têm a mesma topologia. Então, a estrutura genômica dos pais é construída de acordo com a definição utilizada no último passo da configuração do sistema. Se os progenitores não tiverem antepassados, os mesmos são definidos como homocigotos, ou seja, os pares de características armazenadas nos cromossomos são medidas iguais, conforme extraídas das malhas.

Simulação de reprodução

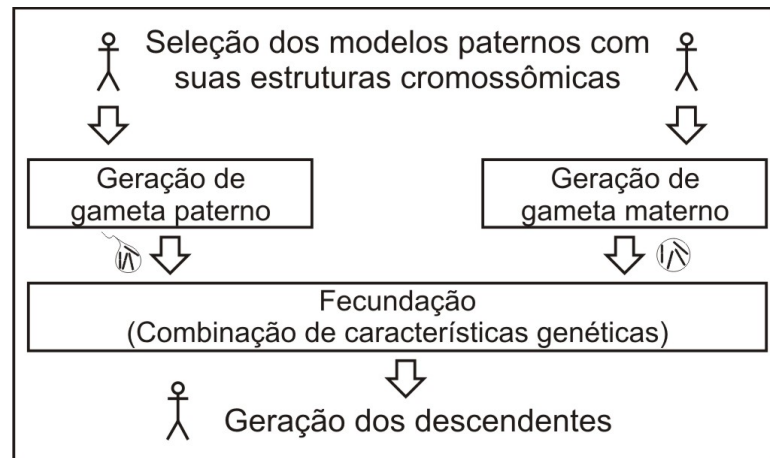


Figura 4.6: Simulação de reprodução.

A última etapa do sistema é a simulação para gerar o descendente. Todo o processo é resumido na Figura 4.6. Os detalhes de cada etapa são descritos nas seções seguintes, utilizando-se das definições do sistema de adaptação geométrica descritas na Seção 3.3.

4.3.2 Simulação de geração de gametas

Quando dois personagens virtuais são selecionados para reprodução, suas malhas e suas estruturas de dados genômicas diploides estão prontas (Figuras 4.7 e 4.8).

Os cromossomos são vetores com um número definido de genes e pesos associados a eles. Os pesos definem o grau de dominância de cada gene e podem ser definidos na etapa

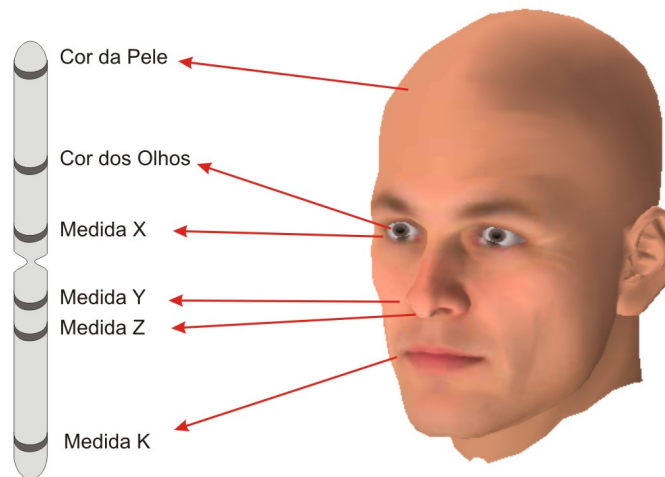


Figura 4.7: Distribuição de características em cromossomos.

de configuração dos progenitores ou aleatoriamente atribuídos durante a fecundação (isso pode ser feito, para garantir uma maior quantidade de combinações). Todo o processo de geração de gametas ocorre como descrito na Seção 4.2. A mistura dos genes está garantida na aleatoriedade de três processos chamados *Crossover*, Metáfase I e Metáfase II. Ao final do processo, são obtidos quatro gametas de cada um dos pais (Figura 4.8).

Multiplos cromossomos aliados aos processos aleatórios de *crossover*, alinhamentos aleatórios na Metáfase I e Metáfase II aumentam a variabilidade da geração dos descendentes. Além disso, um cromossomo pode servir como um encapsulamento de unidades de genes. Quando houver necessidade, por exemplo, de um grupo de genes completamente ligados, esses genes podem ser incluídos no mesmo cromossomo, não permitindo trocas durante o processo de *crossover*.

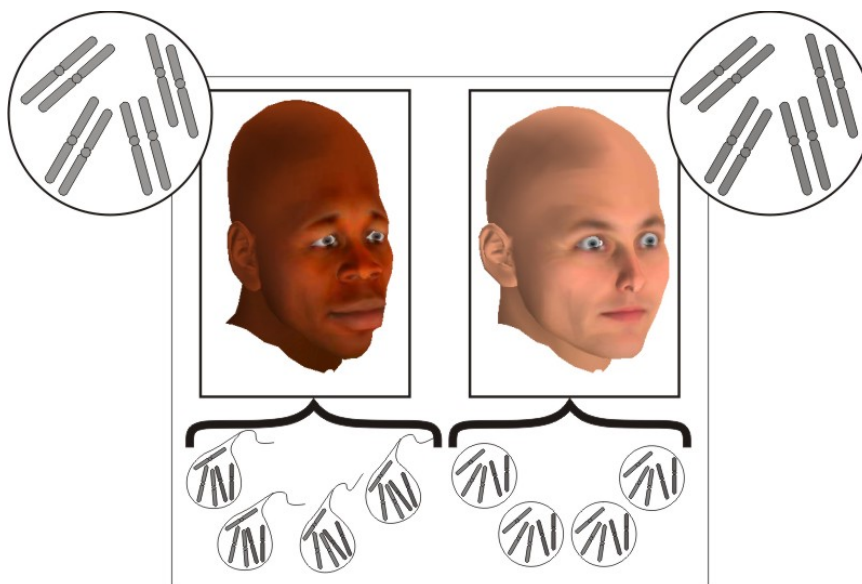


Figura 4.8: Meiose aplicada aos modelos masculino e feminino.

4.3.3 Combinação de características genéticas

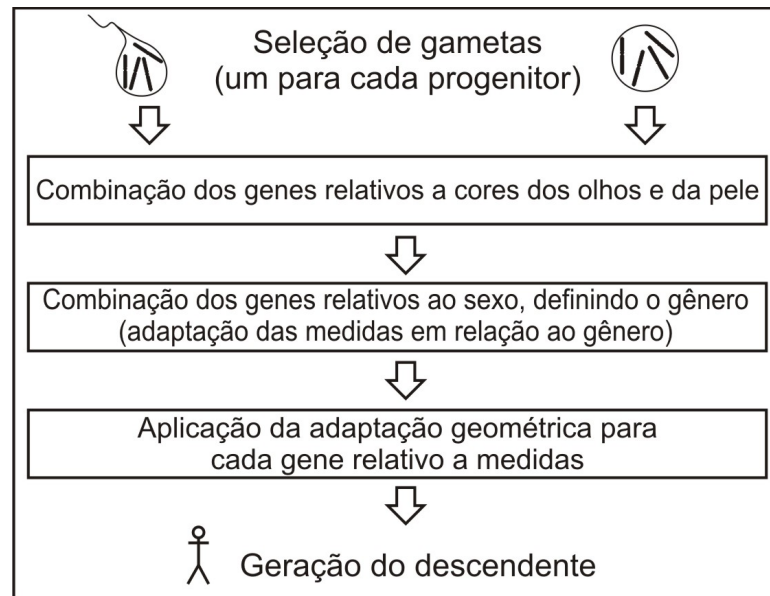


Figura 4.9: Fecundação.

O processo de fecundação consiste na construção da estrutura cromossômica de um descendente pela fertilização de um gameta feminino por um gameta masculino (Figura 4.9). A estrutura cromossômica do descendente é utilizada para gerar sua malha da forma descrita a seguir.

Simulação de reprodução

Dois genes foram utilizados para definir a cor da pele, e outros dois genes foram utilizados para definir a cor dos olhos. Quando a fecundação ocorre, existem quatro genes para cada uma dessas características, dois vindos de cada pai.

As figuras 4.10 e 4.11 mostram as possíveis combinações de genes em um estudo de caso humano.

Combinação de genes que definem o sexo

No modelo proposto, não foram criados cromossomos sexuais. Em vez disso, um gene específico foi definido para ser o determinante do sexo. Um gene de sexo 'x' corresponde ao sexo com características femininas; um 'y' corresponde a características masculinas. Assim, após a fecundação, um indivíduo com 'xx' é do sexo feminino e um indivíduo com 'xy' é do sexo masculino. Quando um descendente do sexo feminino é gerado, o aspecto geral da geometria tem que estar dentro dos limites antropométricos definidos para um modelo feminino. Por outro lado, quando o descendente é masculino, o aspecto geral da geometria tem de estar dentro dos limites antropométricos determinados para este gênero. Para gerar a malha de um descendente do sexo feminino, as características originais do pai são ajustadas às proporções do sexo feminino antes de serem combinadas com medições da mãe, armazenadas nos genes correspondentes. Por outro lado, se o descendente é do sexo masculino, as características herdadas da mãe são ajustadas às proporções do sexo

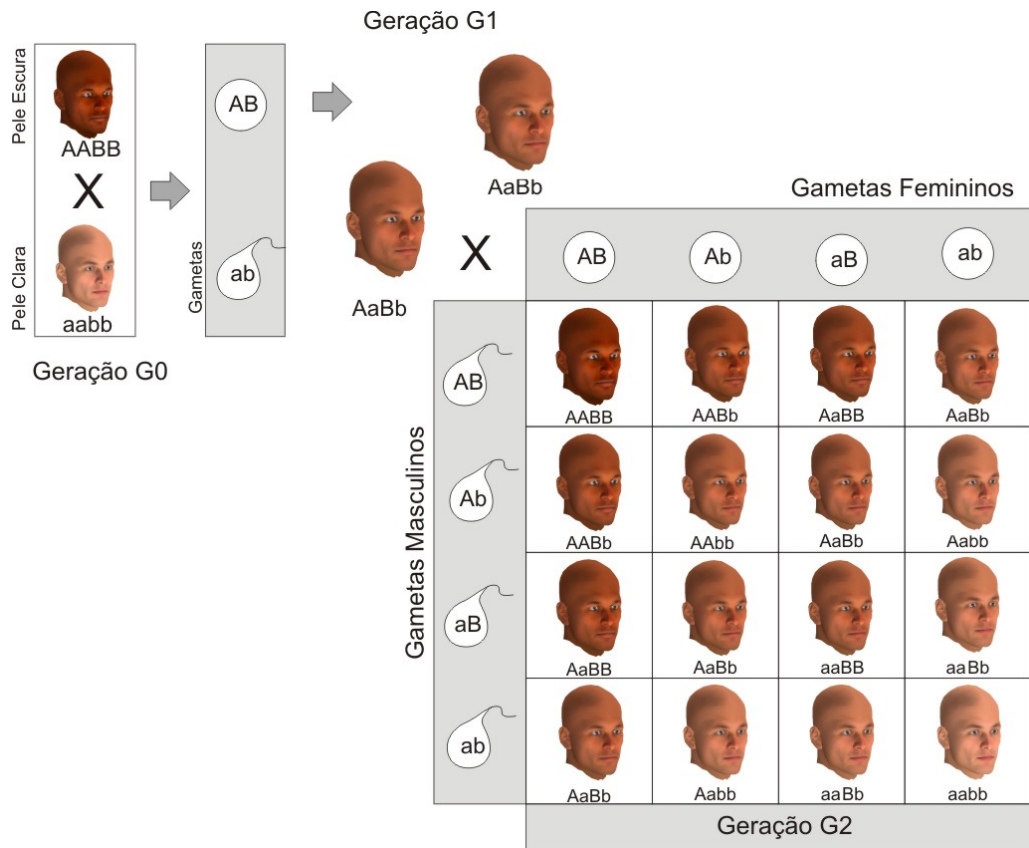


Figura 4.10: Determinação da cor da pele em modelos humanos.

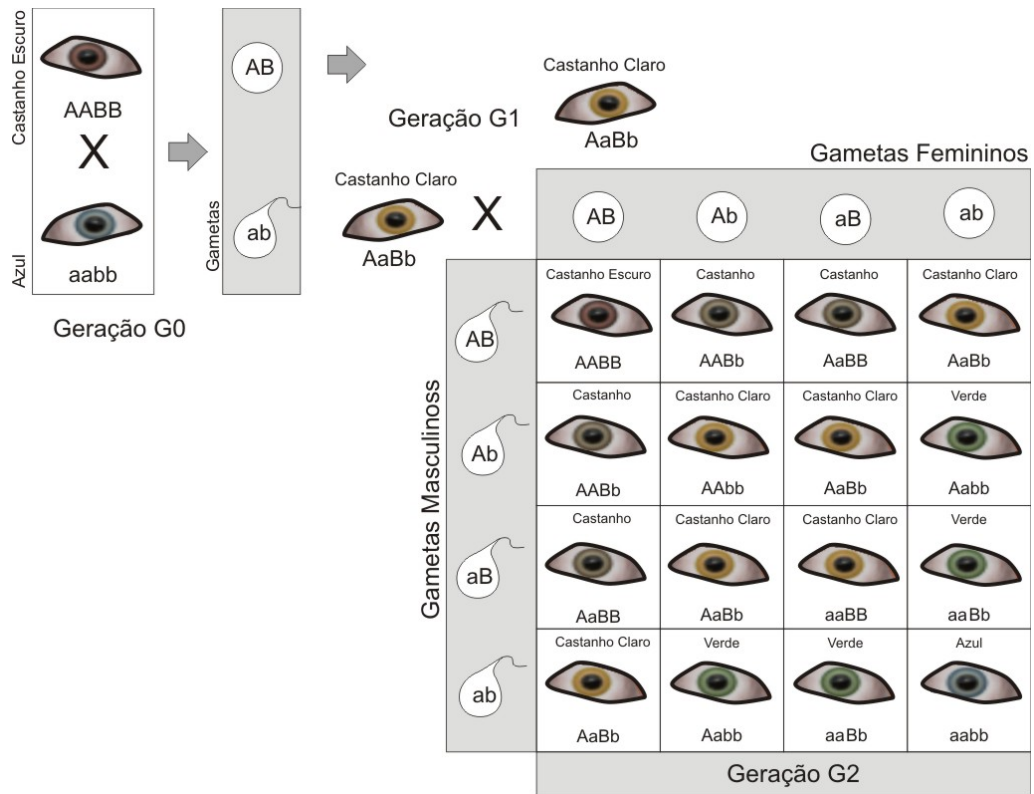


Figura 4.11: Determinação da cor dos olhos em modelos humanos.

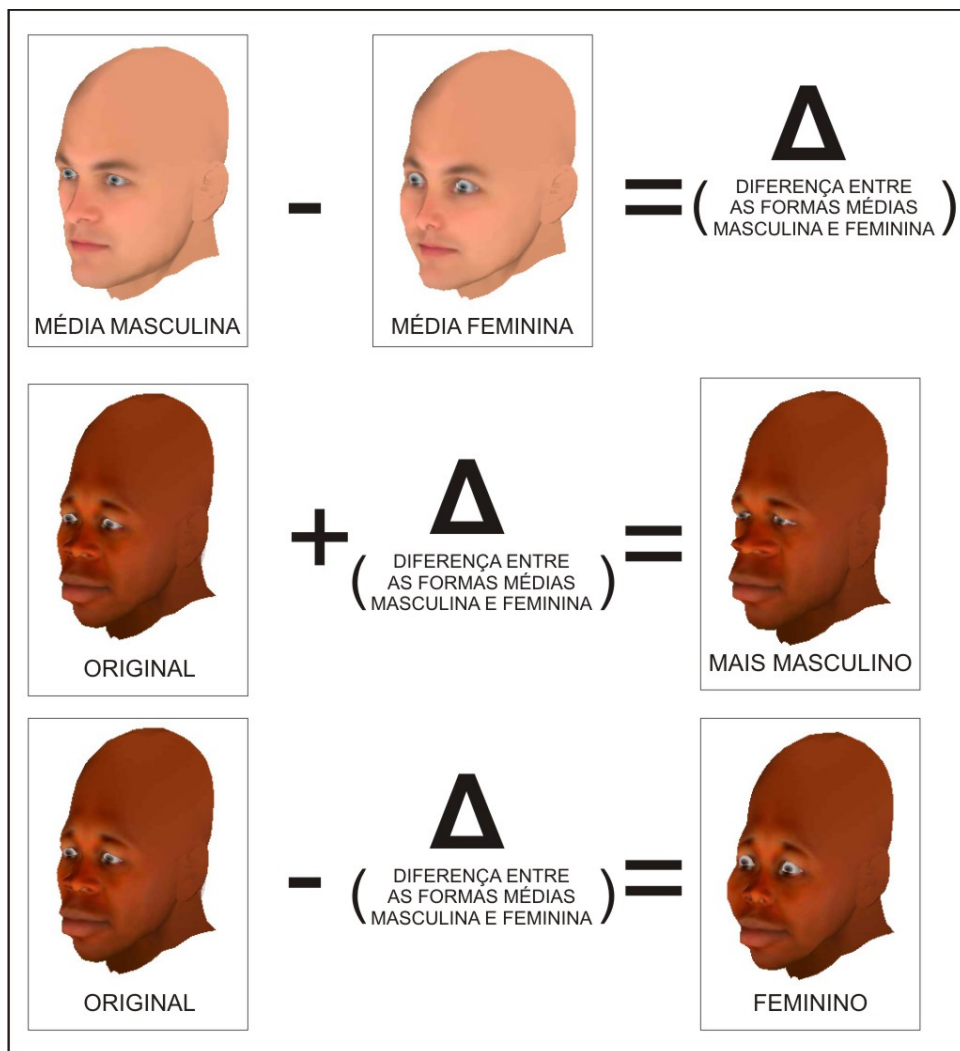


Figura 4.12: Adaptação de gênero aos modelos.

masculino antes de serem combinadas com as características correspondentes herdadas do pai. Essas transformações são efetuadas como descrito na Figura 4.12 (exemplo do estudo de caso humano) e são baseadas no trabalho de Blanz e Vetter (BLANZ; VETTER, 1999), com seus modelos 3D de banco de dados digitalizado, conforme ilustrado na Figura 2.11. Esse processo é aplicado na malha, de acordo com as medições armazenadas nos cromossomos. Neste trabalho, os modelos médios masculino e feminino foram modelos fictícios – Eles não representam a verdadeira média obtida com valores armazenados em bancos de dados.

Aplicação de adaptação geométrica para cada gene relacionado com as medições

Para fins de ilustração, suponha que o descendente seja do sexo feminino. Neste caso, o primeiro passo é obter a média (pode ser uma média ponderada) entre a malha da mãe e a malha do pai ajustada para proporções do sexo feminino (obtidos com o processo de da Figura 4.12). Já que as malhas têm a mesma topologia, este processo é feito com um simples *morphing*, que combina os detalhes das malhas que não são obtidos utilizando apenas as medidas armazenadas nos cromossomos. Quanto mais medições são

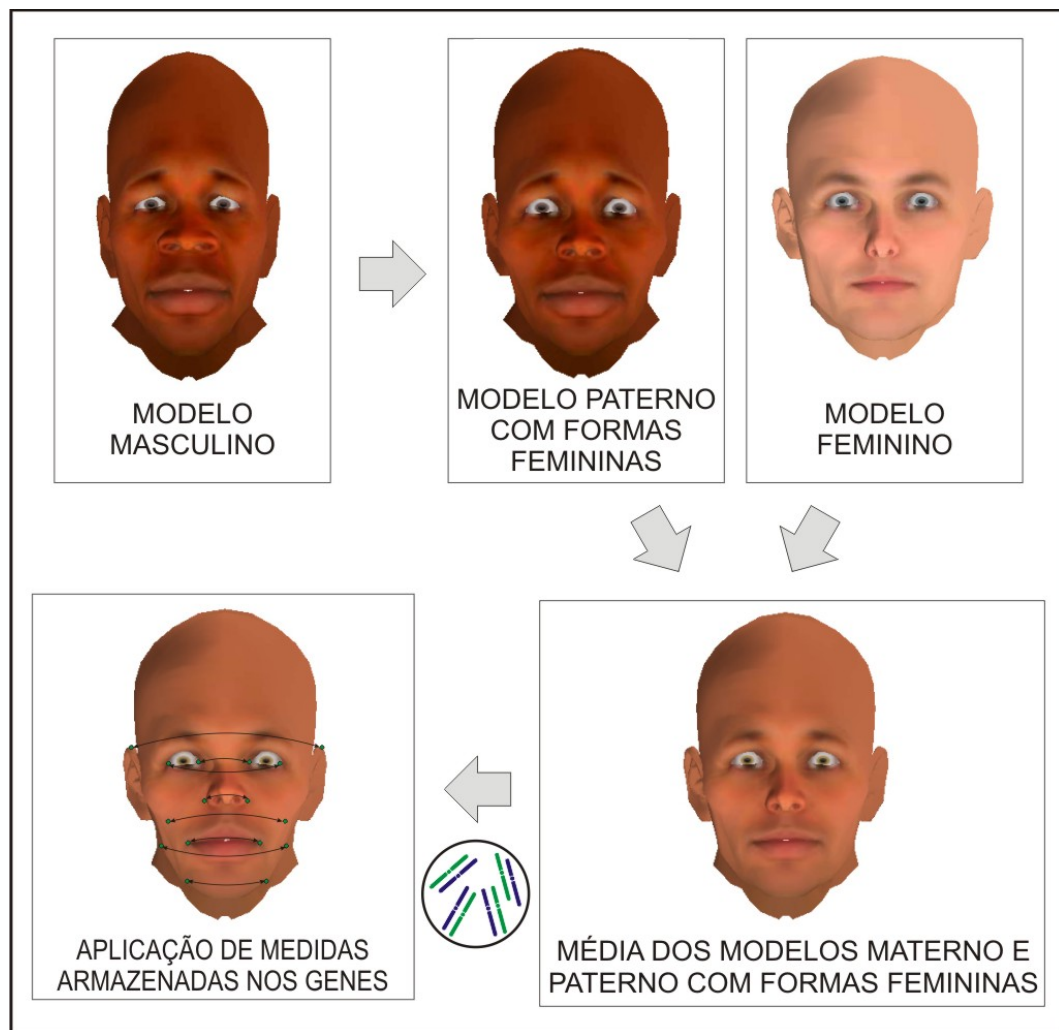


Figura 4.13: Processo de geração do descendente.

introduzidas como genes, menos é necessário esta etapa de combinação de malhas, pois um maior número de medidas adaptadas possibilita captar maiores detalhes. O modelo resultante passa, então, por um processo de adaptação automática de cada medida, com base nas informações armazenadas em sua estrutura de dados genômica (ver Figura 4.13 e Seção 3.3).

Para ilustrar o processo de adaptação de medida, é utilizado o gene que determina a largura do nariz. O primeiro passo, como mostrado na Figura 4.14, realiza uma média ponderada dos valores armazenados nos genes alelos. Os pesos armazenados nos genes, juntamente com as medidas correspondentes, definem o tipo de dominância do gene. Eles são criados na estrutura genômica dos primeiros progenitores e são passados aos descendentes através de herança. No entanto, essa idéia biológica pode ser relaxada, se maior variabilidade for desejada. Se isso for o caso, os pesos podem ser modificados aleatoriamente durante a combinação de medidas (Figura 4.14). Em caso de dominância completa, é atribuído o valor **um** ao peso de um gene dominante, e o valor **zero** é atribuído a um gene recessivo. O segundo passo consiste em aplicar a medida combinada, obtida no primeiro passo, no modelo resultante da etapa de *morphing* (Figura 4.13). No exemplo

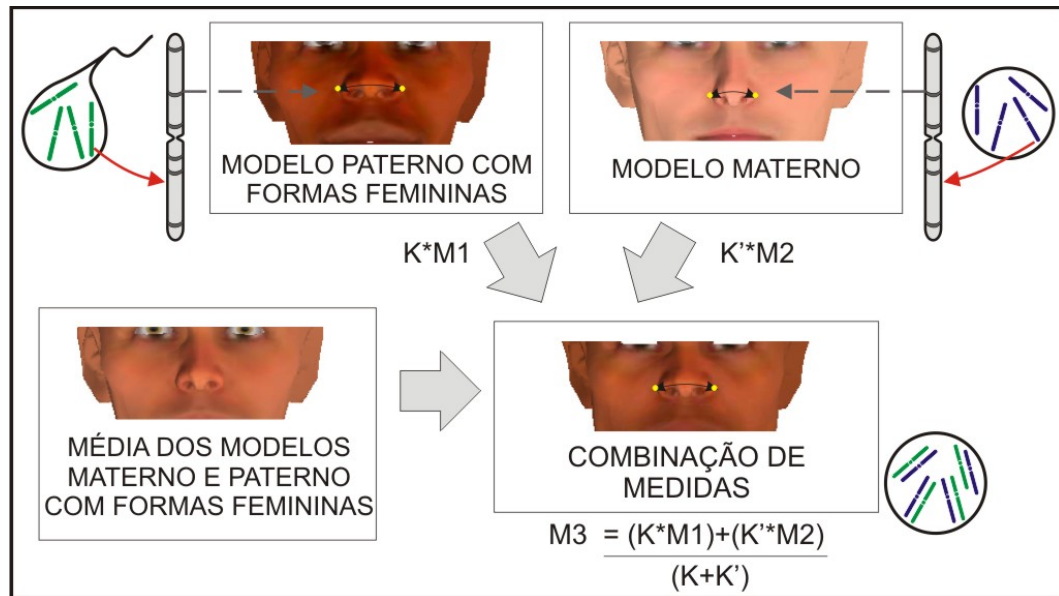


Figura 4.14: Combinação de uma das medidas do nariz. M1 e M2 são medidas oriundas dos pais, juntamente com os pesos K and K'. M3 é a medida resultante.

da largura do nariz, as esferas de influência foram definidas como mostrado na Figura 3.19. O raio das esferas, para cada gene que usa esse tipo de adaptação, é definido durante a fase de configuração do sistema (a ser visto no capítulo seguinte). Com a nova medida calculada, as esferas de influência são movidas para as posições apropriadas. Para completar a simulação, esses dois passos são aplicadas a todos os genes da estrutura genômica (Figura 4.15).

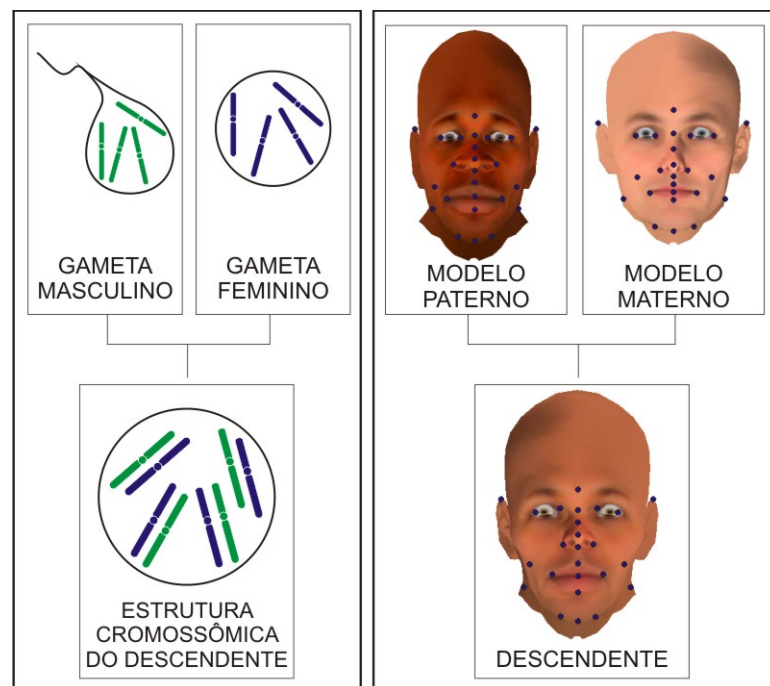


Figura 4.15: Processo de fecundação completa.

4.4 Estudos de Casos

Os estudos de casos apresentados nesta seção ilustram o processo descrito na Seção 4.3, por meio da geração de rostos humanos, rostos humanos caricaturados, modelos de um gato e duas outras criaturas (Figura 4.16), resultando em árvores genealógicas desses personagens virtuais. Esses personagens ilustram o processo geral de reprodução aplicado a cabeças e corpo inteiro de criaturas com diferentes formas geométricas.



Figura 4.16: Personagens utilizados (Humano, Gato, Criatura I e Criatura II).

4.4.1 Definição dos cromossomos e geração de gametas

Os modelos médios utilizados para a transformação de gênero da simulação dos modelos humanos são os mesmo ilustrados na Figura 4.12. Os outros personagens utilizam os modelos médios calculados a partir dos seus progenitores iniciais. O cálculo é feito simplesmente tirando a média das posições de cada coordenada das malhas dos modelos, uma vez que estas possuem a mesma topologia. A Figura 4.17 mostra os modelos médios de cada gênero dos demais estudos de casos.

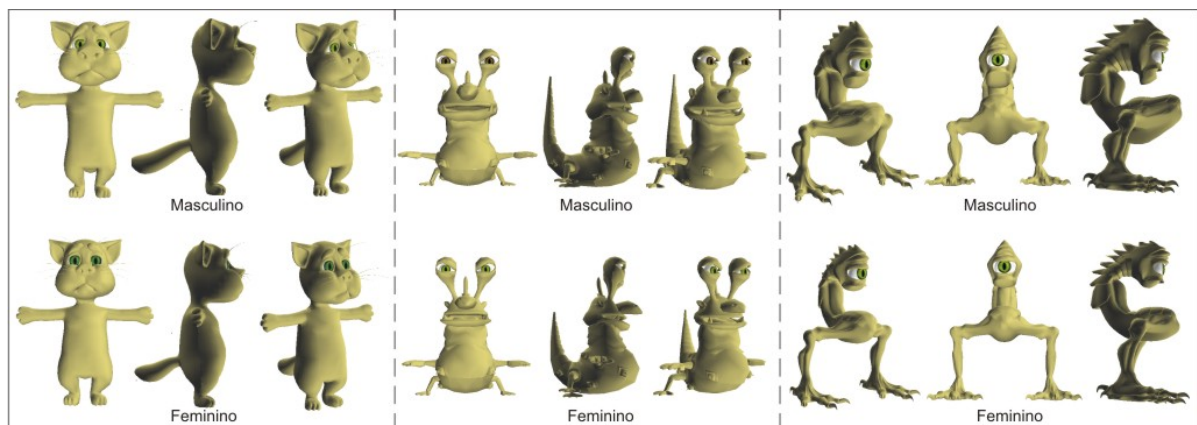


Figura 4.17: Modelos médios masculinos e femininos calculados a partir dos progenitores iniciais.

As cores da pele e dos olhos da simulação dos modelos humanos são os mesmo ilustrados nas Figuras 4.10 e 4.11. Os outros personagens utilizam a mesma idéia de dois genes que definem essas duas características. A Figura 4.18 mostra as texturas da pele e dos olhos, com a combinação de genes definidas na parte superior.

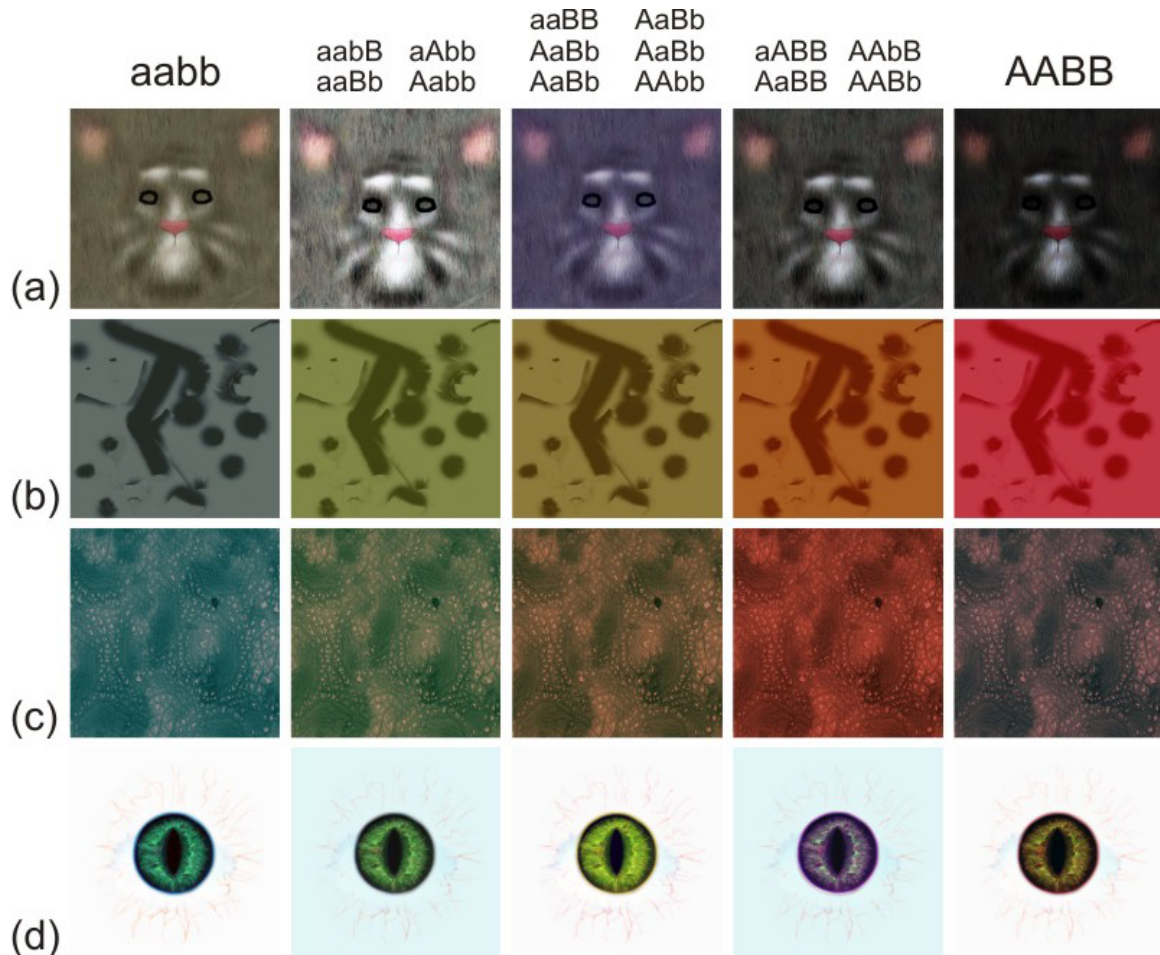


Figura 4.18: Texturas da pele e olhos, com possíveis combinações de genes. (a) Textura da pele do modelo Gato. (b) Textura da pele da Criatura I. (c) Textura da pele da Criatura II. (d) Textura dos olhos do Gato, Criatura I e Criatura II.

As medidas utilizadas nos estudos de casos são ilustradas nas figuras 4.19 e 4.20. No estudo dos modelos humanos, 23 genes foram definidos ($n = 23$) e distribuídos entre seis cromossomos ($m = 6$ – esta é uma escolha de projeto feita pelo usuário). Os genes incluem: dezoito medições definidas por *landmarks* antropométricos; dois genes para definir a cor da pele; dois genes para a cor dos olhos, e um gene para definir o sexo. No estudo do Gato, os mesmos dezoito genes foram definidos para o rosto, e sete para o corpo. As medidas utilizadas nos estudos de casos humanos e de gatos estão ilustradas com detalhes no Apêndice A. Nesse Apêndice é feito um estudo mostrando possíveis resultados de ampliação e redução das medidas. A Criatura I utilizou dezesseis medidas e a Criatura II doze medidas. Semelhante ao modelo humano, esses modelos também utilizam dois genes para definir a cor da pele, dois genes para a cor dos olhos e um gene para definir o sexo. Os genes também foram distribuídos entre seis cromossomos.

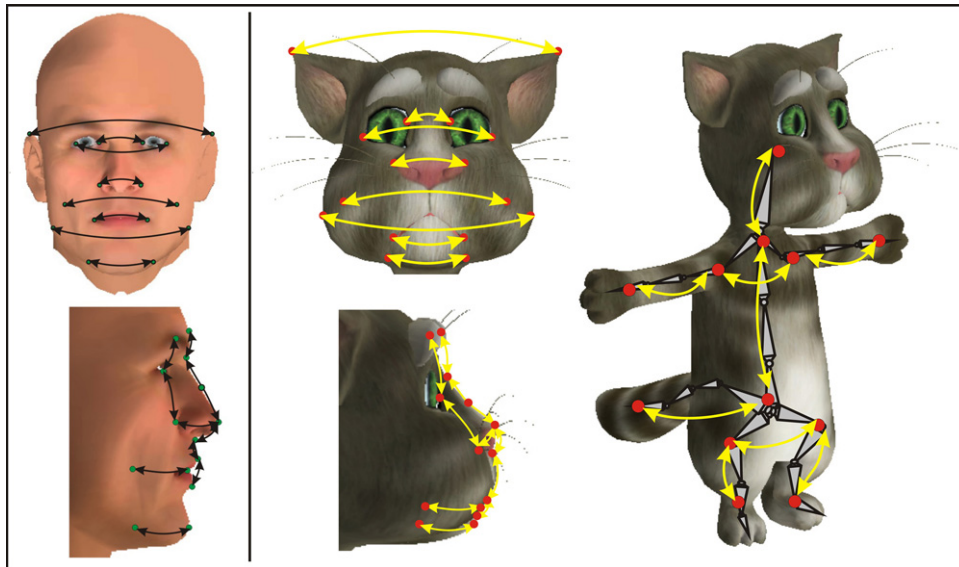


Figura 4.19: Medidas da face utilizadas nos estudos dos modelos humanos e medidas da face e corpo utilizadas no estudo do gato.

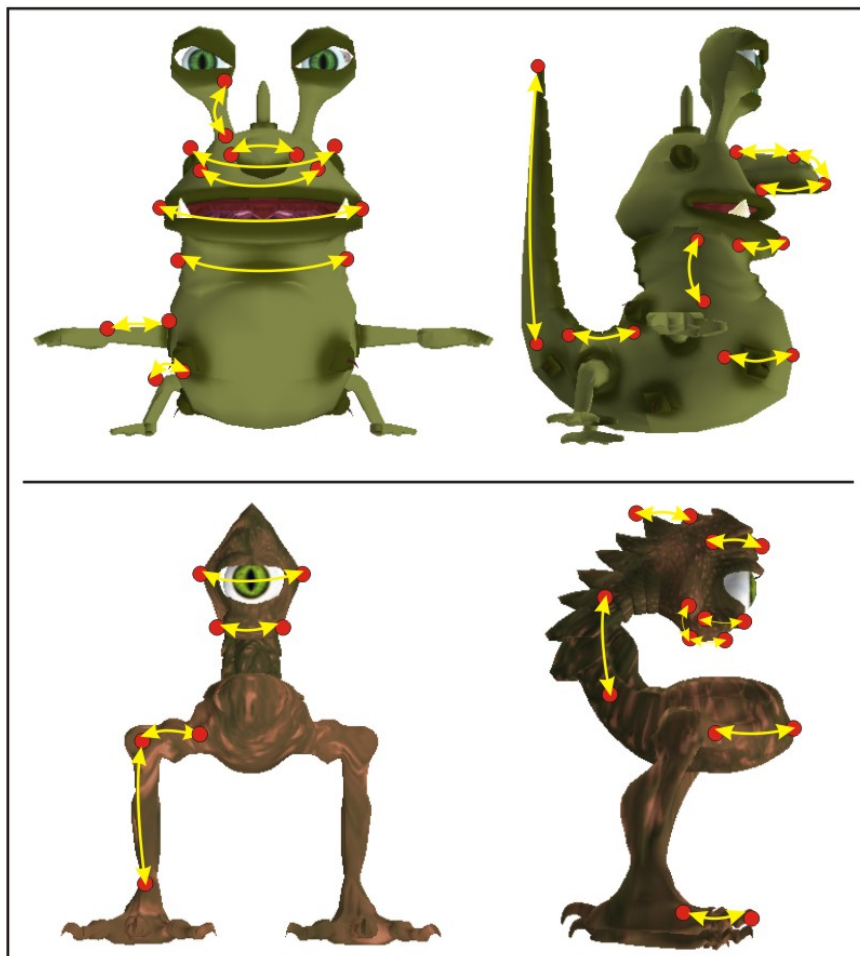


Figura 4.20: Medidas utilizadas nos modelos da Criatura I e Criatura II.

Nos exemplos simulados neste estudo de caso, genes foram distribuídos entre os seis cromossomos, $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6\}$. A estrutura de cada gene dentro dos cromossomos é dada pela Equação 4.3. Nessa estrutura, genes estão associadas a medidas obtidas por *landmarks*, a zonas de influência e a pesos. Para garantir uma alta variedade de gametas, foi permitido ocorrer o *crossover* entre quaisquer genes dos cromossomos (Figura 4.3). Em outras palavras, os segmentos de cromossomo contendo apenas um gene podem ser trocados. Neste estudo, um processo de meiose foi executada em cada estrutura cromossômica dos pais, C_{Male} and C_{Female} . Cada vez que foi realizada uma meiose em cada um dos pais, um dos quatro gametas do pai e um dos quatro, da mãe foram selecionados para a fecundação – não foram gerados todos os descendentes possíveis.

4.4.2 Geração da prole

Nestes estudos de casos, foram selecionados alguns casais a fim de formar famílias com descendentes até a quarta geração. A Figura 4.21 ilustra uma árvore genealógica proveniente de dois casais de diferentes etnias humanas. Foi introduzido um quinto modelo para formar um casal com um dos modelos da segunda geração. As figuras 4.22, 4.23, 4.27 e 4.30 ilustram árvores da família dos estudos de casos dos modelos humanos caricaturados, do gato, da Criatura I e da Criatura II com os mesmos níveis de geração do estudo do modelo humano.

4.4.3 Análise de resultados

Em todos os estudos de casos, os modelos da geração G0 são homozigotos (pois são progenitores iniciais) para os genes relacionados com as medições (Figuras 4.19 e 4.20). Nos estudos de casos 1 e 2, o modelo (e) também é homozigoto, já que eles não têm ancestrais. Em todos os estudos de casos, são feitas análises visuais, identificando características transmitidas às gerações seguintes. Nos estudos de casos 3, 4 e 5, são identificadas as porcentagens de genes herdados de cada progenitor inicial, de alguns modelos gerados nas simulações (Tabela 1). No estudo de caso 3, são feitos mapeamentos completos de dois modelos, um gerado por dominância completa (Tabela 2) e outro por dominância incompleta (Tabela 3), identificando a origem de cada gene e indicando seus pesos. A seguir são feitas as análises de todos os estudos de casos.

Estudo de caso 1 (Figura 4.21):

Os modelos da geração G0 (a, b, c, d) e o modelo externo (e) são homozigotos para os genes relacionados a medições (Figura 4.19). Os modelos (a) e (b) têm apenas genes recessivos para a pele e cor dos olhos, enquanto os modelos (c) e (d) têm apenas genes dominantes para a pele e cor dos olhos. O modelo externo (e) tem apenas um gene dominante para a cor da pele e apenas um gene recessivo para a cor dos olhos.

Na geração G1, excluindo-se o modelo (e), que não foi gerado pela simulação, todos os modelos têm geometrias muito semelhantes às de seus pais. Isso ocorre devido ao

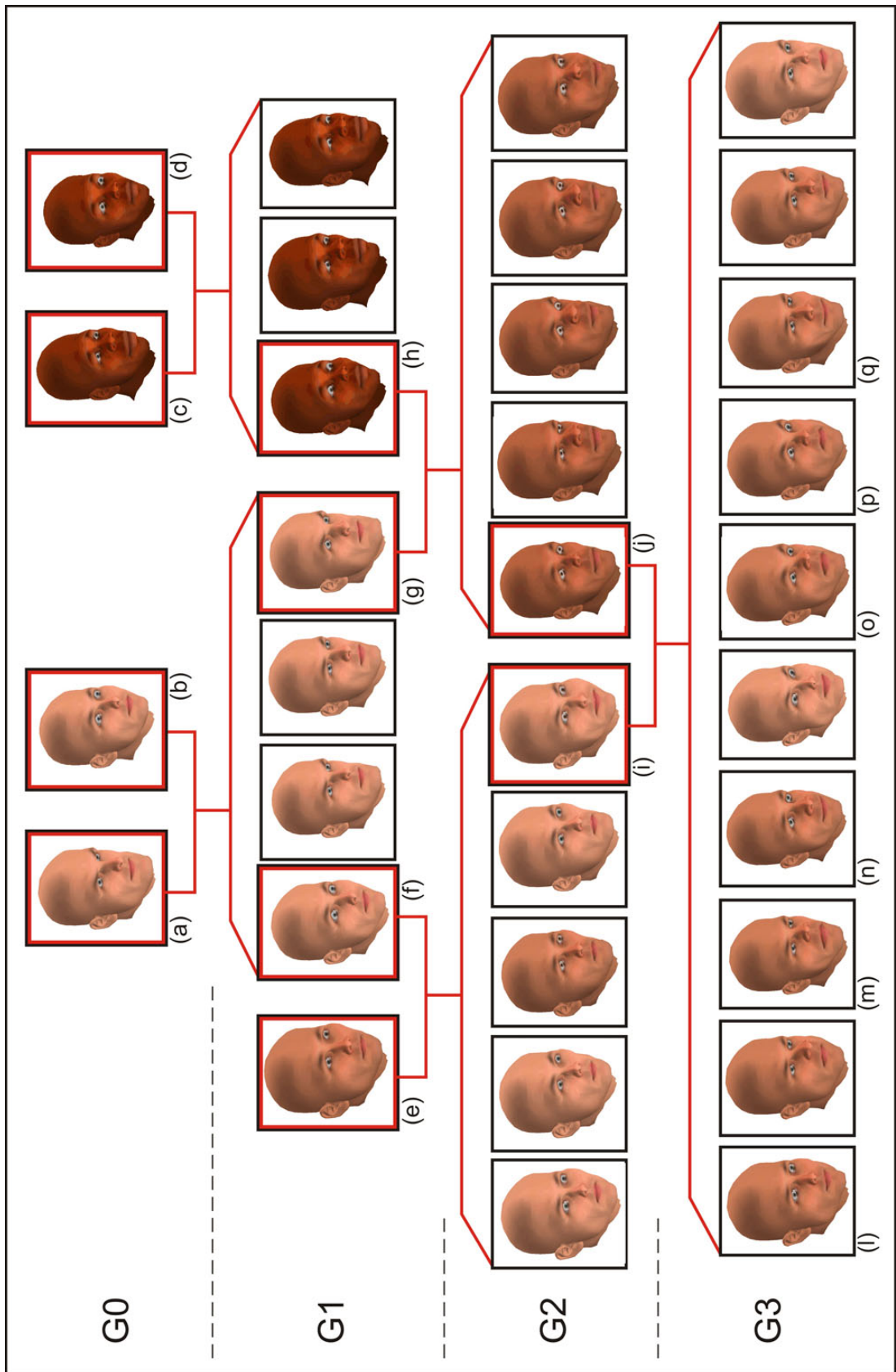


Figura 4.21: Árvore genealógica de modelos humanos com diferentes etnias.

fato de que seus pais são homozigotos, o que reduziu a possibilidade de combinações de características, e também pertencem ao mesmo grupo étnico.

Na geração G2, os filhos dos modelos (e) e (f) também não apresentaram variabilidade, porque um dos pais, (e), é homozigoto e o outro é um filho de pais etnicamente semelhantes. No entanto, pode-se notar que as formas de suas cabeças são mais semelhantes à forma da cabeça do modelo (e). Nota-se claramente que os filhos dos modelos (g) e (h) apresentaram mais combinações dos traços de ambos os pais. Podem-se ver as combinações de nariz, do formato da cabeça e dos olhos. Como exemplo, o modelo (j) tem o formato de rosto mais semelhante aos dos modelos (c), (d) e (h), mas herdou o nariz dos modelos (a), (b) e (g). Todos os modelos têm dois genes recessivos e dois genes dominantes para as cores dos olhos e da pele. Os recessivos foram herdados do modelo (g) e os dominantes, do modelo (h), portanto, todos têm a mesma cor de pele e a mesma cor dos olhos.

Finalmente, a geração G3 apresenta uma ampla gama de características, porque é o resultado de combinações de genes herdados de todos os cinco antepassados homozigotos iniciais (a, b, c, d, e). É possível identificar algumas características que foram herdadas de cada ancestral homozigoto. O modelo (l) tem a forma da cabeça semelhante à do modelo (e) e, um nariz fino herdado dos modelos (a) e (b). Os modelos (m) e (n) têm maior nariz (apesar do nariz fino de seus pais (i) e (j)), herança de seus bisavós (c) e (d) que estava escondida em (j). O modelo (o) herdou lábios grossos a partir de (c) e (d), e as sobrancelhas altas a partir de (g) e (p). O modelo (q) tem os lábios finos a partir de (a) e (b) ou (e), a forma da cabeça a partir de (c) e (d) e os olhos mais parecidos com (e). A cor dos olhos e da pele variou consideravelmente, uma vez que os olhos de (i) têm dois genes dominantes e dois recessivos e sua pele tem apenas genes recessivos, enquanto o modelo (j) tem dois genes recessivos e dois dominantes para a cor dos olhos, e dois genes dominantes e dois recessivos para a cor da pele.

Estudo de caso 2 (Figure 4.22):

Os modelos da geração G0 (a, b, c, d) e o modelo externo (e) são homozigotos para os genes relacionados com as medidas (Figura 4.19). Os modelos (a), (b) e (e) têm apenas genes recessivos para a cor da pele. Os modelos (b) e (c) têm apenas genes recessivos para a cor dos olhos. No modelo (a), um dos genes associados à cor dos olhos é dominante. Os modelos (c) e (d) têm dois genes recessivos e dois genes dominantes para a cor da pele, bem como para a cor dos olhos.

Na geração G3 existem dois casos interessantes a serem considerados. Um deles é relacionado aos modelos (m) e (n), que têm os lábios mais grossos, apesar de seus pais (i) e (j) terem lábios finos. É possível verificar que esse gene foi herdado dos modelos (c), (d) e (h) e estava escondido no modelo (j). Outro caso diz respeito aos modelos (o), (p) e (q) que têm queixos largos. Pode-se notar que apenas um de seus parentes tem queixo largo. Seus bisavós (a), (b) (c) e (d), seus avós (f), (g) e (h) e seus pais (i) e (j), todos têm queixos finos. Apenas o avô deles, (e), tem queixo largo. Uma vez que (e) é homozigoto nas medições, é possível afirmar que o modelo (i) tem esse gene, e que, embora não tenha se

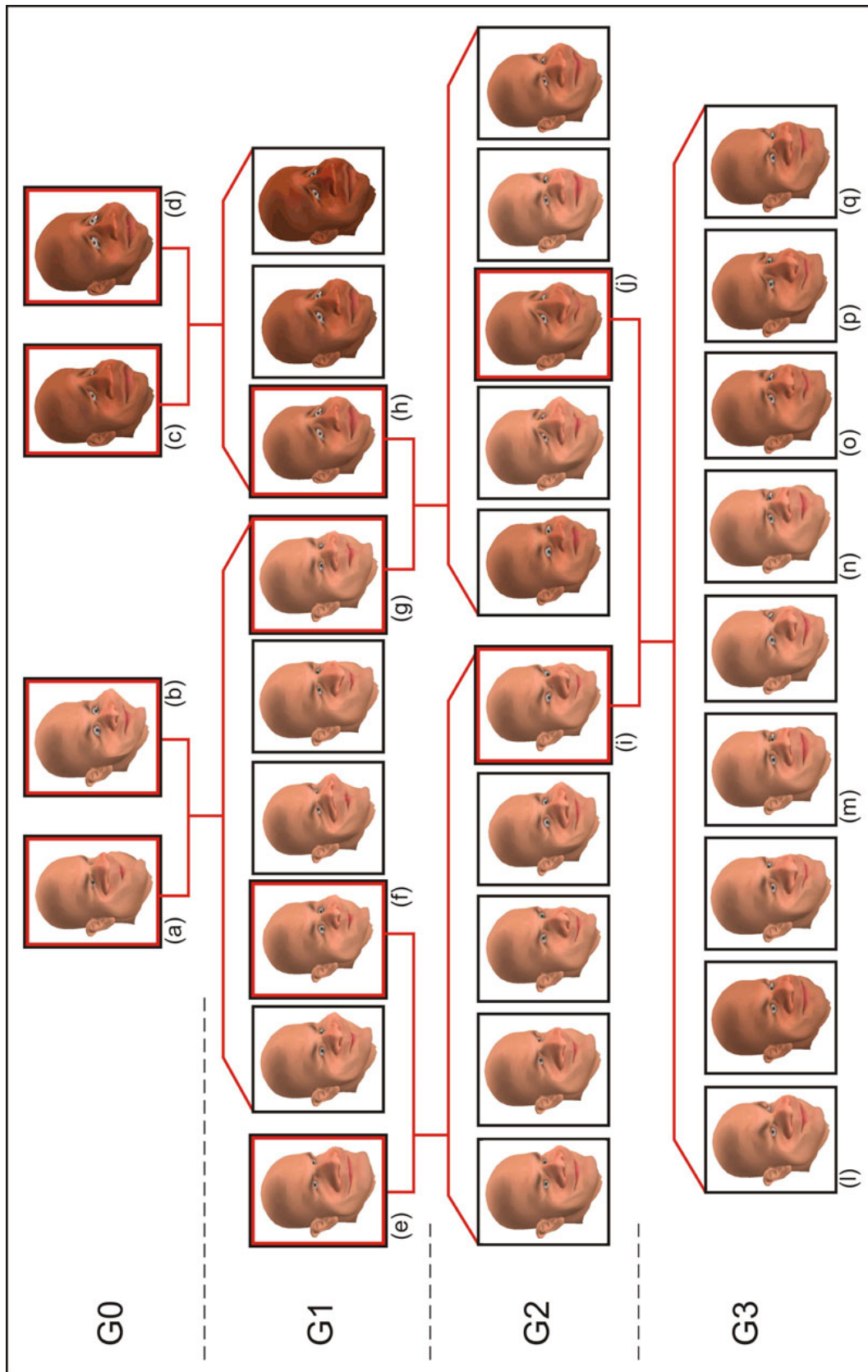


Figura 4.22: Árvore genealógica de modelos humanos caricaturados.

manifestado, foi transmitido aos seus filhos (o), (p) e (q). Como os modelos neste estudo de caso têm medidas exageradas, é mais fácil identificar as características herdadas ao longo da árvore.

Estudo de caso 3 (Figura 4.23):

Os modelos da geração G0 (a, b, c, d) e o modelo externo (e) são homozigotos para os genes relacionados às medidas (ver Figura 4.19). Os modelos (a) e (b) têm medidas corporais muito diferentes, para que seja possível ver melhor as combinações durante a simulação. O modelo (e) tem algumas medidas exageradas no rosto, possibilitando analisar melhor a combinação dessas medidas durante a simulação. O modelo (d) é o único com o nariz apontando para baixo, por isso, é possível ver nas próximas gerações, por onde esse gene passa. É possível ver, nas próximas gerações, muitos tipos de combinações de medidas de rosto e corpo. Alguns modelos gerados são ilustrados em maiores detalhes (Apêndice A.3).

Dos modelos da geração G3, apenas os modelos (s) e (t) foram gerados por dominância incompleta. A Tabela 4.1 mostra, para um dado modelo, a carga genética herdada dos progenitores iniciais. O rastreamento dos genes é feito de acordo com o identificador descrito na Seção 4.3.2. É possível verificar uma grande concentração de genes herdados dos modelos (a) e (b), comparado aos modelos (c) e (d), nos modelos da geração G3. Isso ocorre porque tanto o modelo paterno, como o materno, possuem genes desses modelos, o que aumenta a chance de herança desses genes. O modelo (e) entrou na segunda geração, logo este também tem maior possibilidade de manter seus genes na geração G3. Foi feito o mapeamento de genes dos modelos (i) e (j), da geração G2 e de alguns de seus filhos, da geração G3. O modelo (i) possui 50% dos genes do modelo (e), pois este modelo é um progenitor inicial. Conforme foi descrito anteriormente, todos os progenitores iniciais são homozigotos, garantindo a transmissão de todas as suas medidas (genes) à geração seguinte.

Modelo	Mod. (a)	Mod. (b)	Mod. (c)	Mod. (d)	Mod. (e)
Gato (i)	24,1%	25,9%	0%	0%	50,0%
Gato (j)	24,1%	25,9%	27,6%	22,4%	0%
Gato (l)	31,0%	34,5%	8,6%	12,1%	13,8%
Gato (q)	20,7%	24,1%	13,8%	8,6%	32,8%
Gato (s)	24,1%	24,1%	19,0%	8,6%	24,1%
Gato (t)	22,4%	25,9%	15,5%	6,9%	29,3%

Tabela 4.1: % de genes herdados dos modelos iniciais na simulação de gatos.

Para uma análise mais detalhada, foi utilizado o modelo (l) (Figura 4.25) para um mapeamento completo dos genes, identificando a origem e pesos aplicados a todos os genes herdados dos progenitores iniciais (Figura 4.24). A Tabela 4.2 mostra o rastreamento de todos os genes do modelo(l), gerado por dominância completa, com seus respectivos pesos. Nessa tabela, genes herdados de cada progenitor inicial são identificados com o peso 1 ou 0, sendo o peso 1 a indicação do fator dominante e o peso 0, o gene que ficará

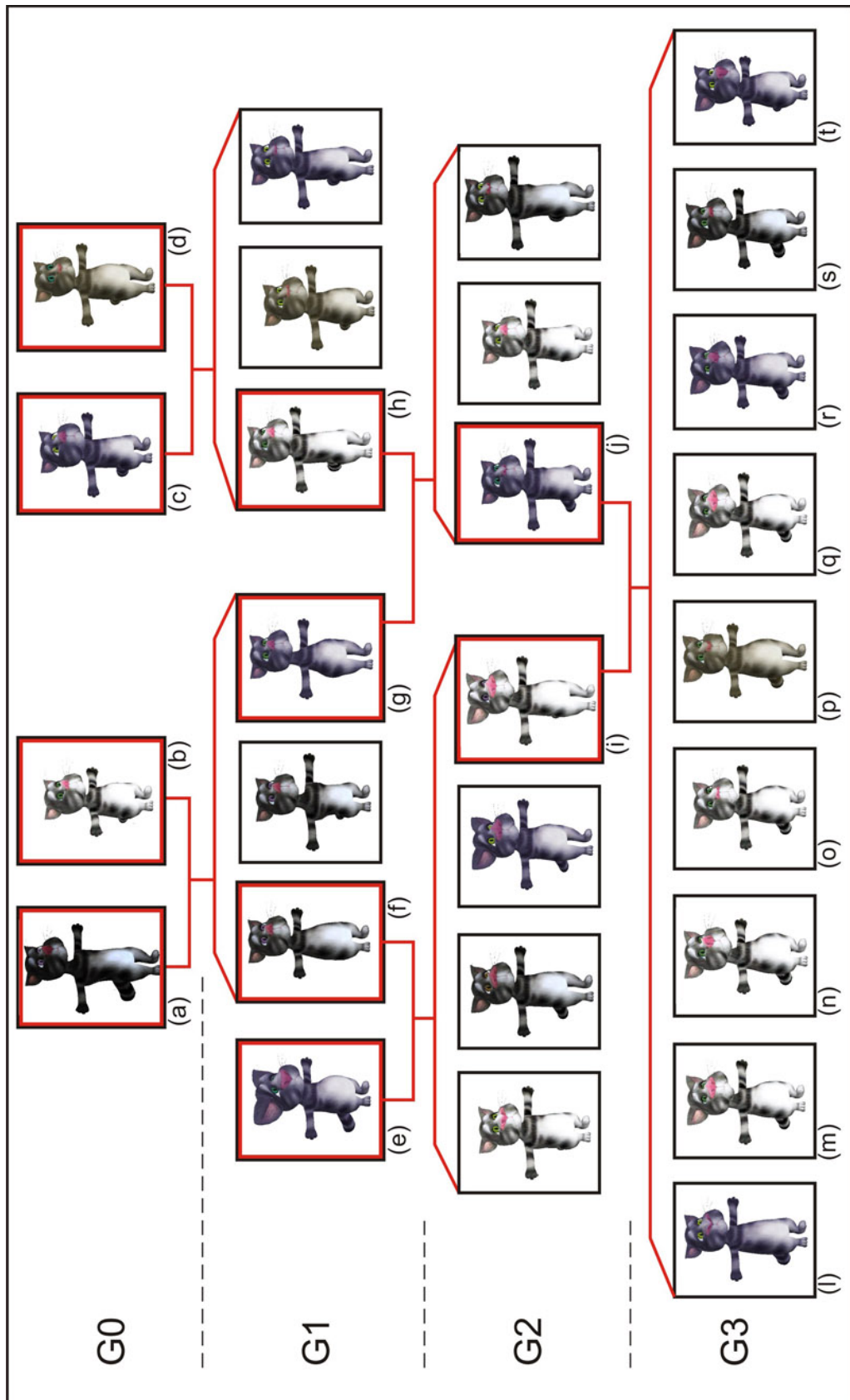


Figura 4.23: Árvore genealógica de modelos Gato.

oculto, conforme regra de combinação de genes descrita na Figura 4.14. Neste estudo, é possível identificar claramente as medidas dominantes dos modelos gerados, em cada um dos modelos progenitores iniciais. As medidas indicadas na tabela são identificadas e ilustradas no Apêndice A.

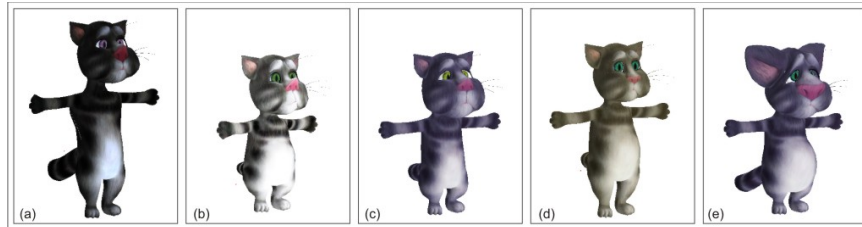


Figura 4.24: Progenitores Iniciais.

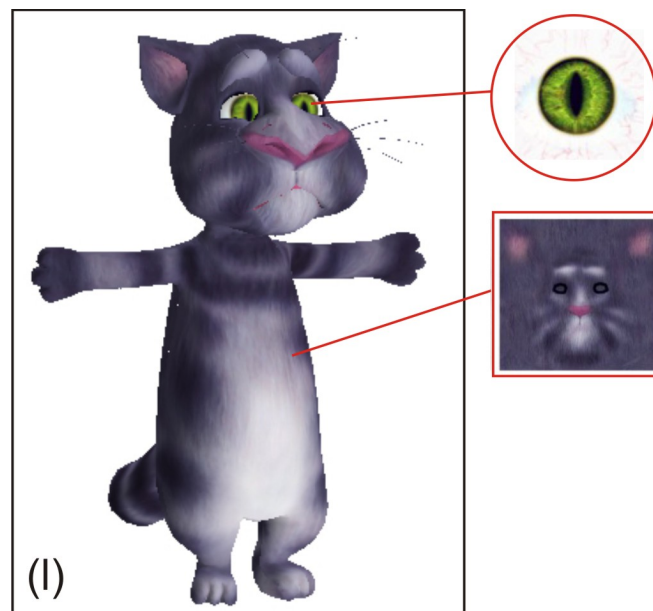


Figura 4.25: Modelo Estudado.

Nesse mapeamento, é possível verificar, na Tabela 4.2, que o modelo (l) possui dois genes dominantes e dois recessivos para cores dos olhos e da pele. A Figura 4.25 mostra que o resultado está de acordo com o que foi definido na Figura 4.18. Os genes da largura do nariz (medida 5) foram herdados dos modelos (d) e (e), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (e). A diferença entre as medidas dos modelos iniciais é bem grande, o que torna fácil a identificação da atuação do gene do modelo (e). Essa verificação visual está de acordo com o indicado pelo mapeamento da tabela 4.2. Os genes que definem a altura das pernas (medida 23) foram herdados do modelo (a) e (b), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (b). É possível verificar visualmente que o comprimento das pernas do modelo (a) é maior do que o comprimento das pernas do modelo (b) e que o modelo gerado (modelo (l)) possui comprimento de pernas idêntico ao do modelo (b). A mesma análise pode ser feita para todas as medidas, comparando o resultado visual com o mapeamento da Tabela 4.2.

Avaliação Medidas	Herança do modelo (i)	Herança do modelo (j)
	Mod.(a)-Mod.(b)-Mod.(e)	Mod.(a)-Mod.(b)-Mod.(c)-Mod.(d)
Olhos 01	x - 1 - x	x - 0 - x - x
Olhos 02	1 - x - x	x - x - 0 - x
Pele 01	x - 1 - x	1 - x - x - x
Pele 02	x - 0 - x	x - 0 - x - x
Medida 01	x - x - 1	x - x - 0 - x
Medida 02	x - x - 0	x - x - x - 1
Medida 03	0 - x - x	1 - x - x - x
Medida 04	0 - x - x	1 - x - x - x
Medida 05	x - x - 1	x - x - x - 0
Medida 06	x - x - 1	x - 0 - x - x
Medida 07	1 - x - x	x - x - x - 0
Medida 08	x - 1 - x	0 - x - x - x
Medida 09	x - 0 - x	x - 1 - x - x
Medida 10	x - x - 0	x - x - 1 - x
Medida 11	0 - x - x	x - 1 - x - x
Medida 12	0 - x - x	x - x - x - 1
Medida 13	1 - x - x	0 - x - x - x
Medida 14	x - 1 - x	x - 0 - x - x
Medida 15	x - 1 - x	x - x - x - 0
Medida 16	0 - x - x	x - x - 1 - x
Medida 17	x - 1 - x	0 - x - x - x
Medida 18	x - x - 0	x - x - 1 - x
Medida 19	x - 1 - x	x - 0 - x - x
Medida 20	1 - x - x	0 - x - x - x
Medida 21	x - x - 1	x - 0 - x - x
Medida 22	x - x - 1	x - x - 0 - x
Medida 23	0 - x - x	x - 1 - x - x
Medida 24	1 - x - x	x - x - x - 0
Medida 25	x - x - 1	x - x - x - 0

Tabela 4.2: Mapeamento genético do modelo Gato (l).

A Tabela 4.3 mostra o rastreamento dos genes do modelo (t) (Figura 4.26), gerado por dominância incompleta. Os genes herdados de cada progenitor inicial (Figura 4.24) é identificado com pesos que variam de 0 a 9 e são combinados conforme definido na Figura 4.14, portanto, resultam em medidas intermediárias, com média ponderada, entre as medidas herdadas dos seus progenitores iniciais.

Nesse mapeamento, é possível verificar que o modelo (t) possui dois genes dominantes e dois recessivos para cores dos olhos e da pele. Por serem médias ponderadas, os demais genes (medidas) não são identificados tão claramente nos progenitores iniciais. Os genes da largura do nariz (medida 5) foram herdados dos modelos (a) e (e), com pesos 2 e 7. Os genes que definem a altura das pernas (medida 23) foram herdados do modelo (b) e (e), com pesos 4 e 5. Os dois progenitores iniciais possuem pernas curtas, com pequena variação, o que é refletido no resultado do modelo (t). A mesma análise pode ser feita para todas as medidas, comparando o resultado visual com o mapeamento da Tabela 4.3.

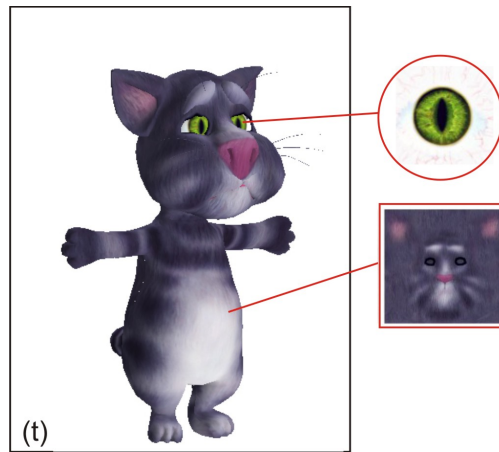


Figura 4.26: Modelo Estudado.

Avaliação Medidas	Herança do modelo (i)			Herança do modelo (j)		
	Mod.(a)	Mod.(b)	Mod.(e)	Mod.(a)	Mod.(b)	Mod.(c)-Mod.(d)
Olhos 01	x	1	x	x	x	x - 0
Olhos 02	1	x	x	0	x	x - x
Pele 01	x	1	x	1	x	x - x
Pele 02	x	x	0	x	0	x - x
Medida 01	x	x	6	x	x	3 - x
Medida 02	x	x	4	x	5	x - x
Medida 03	x	x	2	x	x	x - 7
Medida 04	x	x	2	7	x	x - x
Medida 05	x	x	7	2	x	x - x
Medida 06	6	x	x	x	x	3 - x
Medida 07	7	x	x	x	2	x - x
Medida 08	x	3	x	x	x	6 - x
Medida 09	x	7	x	x	2	x - x
Medida 10	x	x	7	2	x	x - x
Medida 11	5	x	x	x	x	4 - x
Medida 12	x	x	3	6	x	x - x
Medida 13	x	x	3	x	x	6 - x
Medida 14	x	x	6	x	x	x - 3
Medida 15	x	x	6	x	3	x - x
Medida 16	x	7	x	x	x	2 - x
Medida 17	6	x	x	3	x	x - x
Medida 18	x	x	1	x	x	8 - x
Medida 19	7	x	x	x	x	2 - x
Medida 20	x	x	6	3	x	x - x
Medida 21	x	x	6	x	x	3 - x
Medida 22	x	x	8	x	1	x - x
Medida 23	x	x	5	x	4	x - x
Medida 24	x	x	8	x	1	x - x
Medida 25	x	3	x	x	x	x - 6

Tabela 4.3: Mapeamento genético do modelo Gato (t).

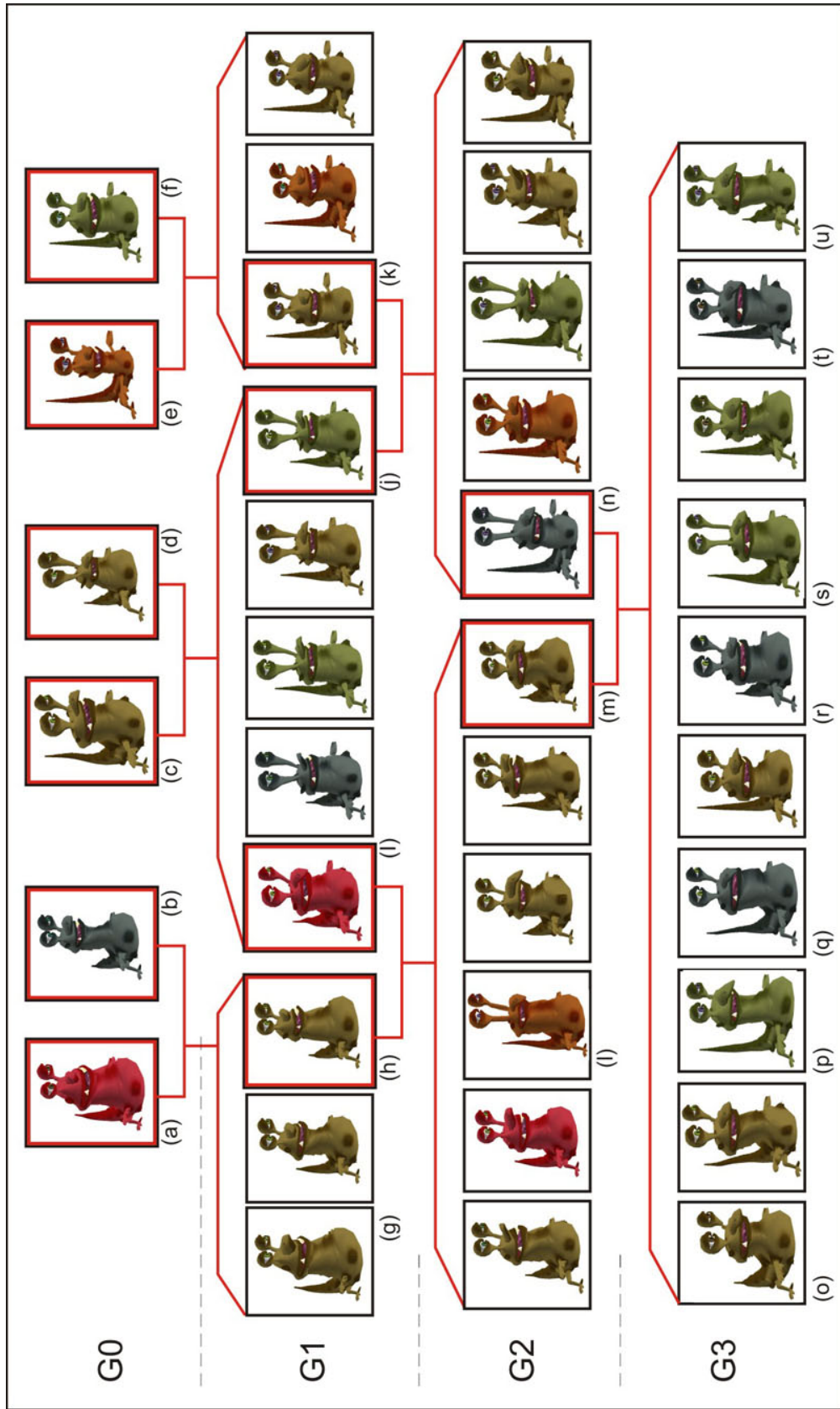


Figura 4.27: Árvore genealógica de modelos Criatura I.

Estudo de caso 4 (Figura 4.27):

Os modelos (a) e (b) são os únicos que têm pescoço longo. O modelo (b) é o que possui menor cauda. Os modelos (c) e (d) têm os olhos mais longos e narizes grandes apontando para baixo. O modelo (e) tem longos braços, pernas e corpo. Há muitas combinações dessas características, mas a seguir são analisados os pais (m) e (n) e seus descendentes. Ambos os pais têm pescoço curto, mas alguns de seus descendentes têm pescoços longos, tais como os modelos (p) e (u). Essa característica veio dos pais (a) ou (b), mas foi escondida em (m). A cauda curta de (o), (r) e (u) veio do modelo (b). Os olhos longos de (s) foram herdados do modelo (d). O corpo longo de (p) foi herdado do modelo (e). Também é possível ver claramente diferenças nos formatos de nariz. A Tabela 4.4 mostra a carga genética de alguns dos modelos gerados, herdada de cada um dos progenitores iniciais. Alguns dos modelos gerados são ilustrados em maiores detalhes (Apêndice A.4).

A Tabela 4.4 mostra, para um dado modelo, a carga genética herdada dos progenitores iniciais. É possível verificar uma maior concentração de genes herdados dos modelos (c) e (d). Isso ocorre porque tanto o modelo paterno, como o materno, possuem genes desses modelos, o que aumenta a chance de herdar esses genes. Por outro lado, os modelos (a), (b), (e) e (f) só estão presentes na estrutura genética de um dos modelos paternos.

Modelo	Mod. (a)	Mod. (b)	Mod. (c)	Mod. (d)	Mod. (e)	Mod. (f)
Criatura I (o)	17,5%	12,5%	20,0%	15,0%	17,5%	17,5%
Criatura I (p)	12,5%	12,5%	37,5%	20,0%	12,5%	5%
Criatura I (q)	15,0%	15,0%	32,5%	10,0%	10,0%	17,5%
Criatura I (r)	15,0%	15,0%	27,5%	15,0%	15,0%	12,5%
Criatura I (s)	10,0%	5,0%	45,0%	20,0%	10,0%	10,0%
Criatura I (t)	10,0%	17,5%	27,5%	22,5%	10,0%	12,5%
Criatura I (u)	7,5%	17,5%	32,5%	22,5%	7,5%	12,5%

Tabela 4.4: % de genes herdados dos modelos iniciais na simulação da Criatura I.

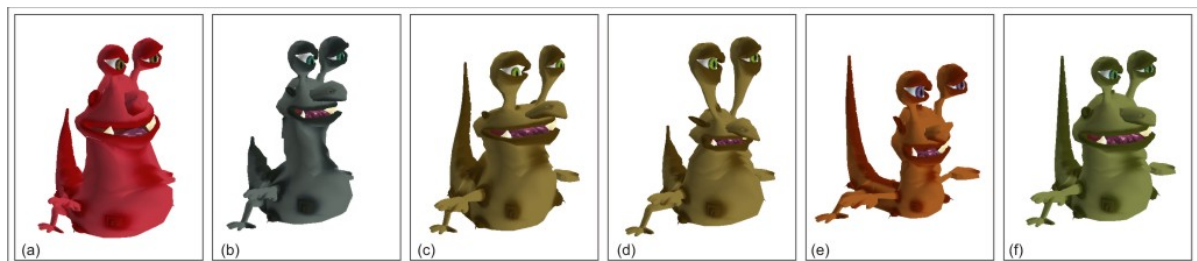


Figura 4.28: Progenitores Iniciais.

Para uma análise mais detalhada, foi utilizado o modelo (p) (Figura 4.29) para um mapeamento completo dos genes, identificando a origem e pesos aplicados a todos os genes herdados dos progenitores iniciais (Figura 4.28). A Tabela 4.5 mostra o rastreamento de todos os genes do modelo(p), gerado por dominância completa, com seus respectivos pesos, assim como no estudo de caso anterior, possibilitando a identificação de medi-

das dominantes dos modelos gerados, em cada um dos modelos progenitores iniciais. As medidas indicadas na tabela são identificadas e ilustradas no Apêndice A.

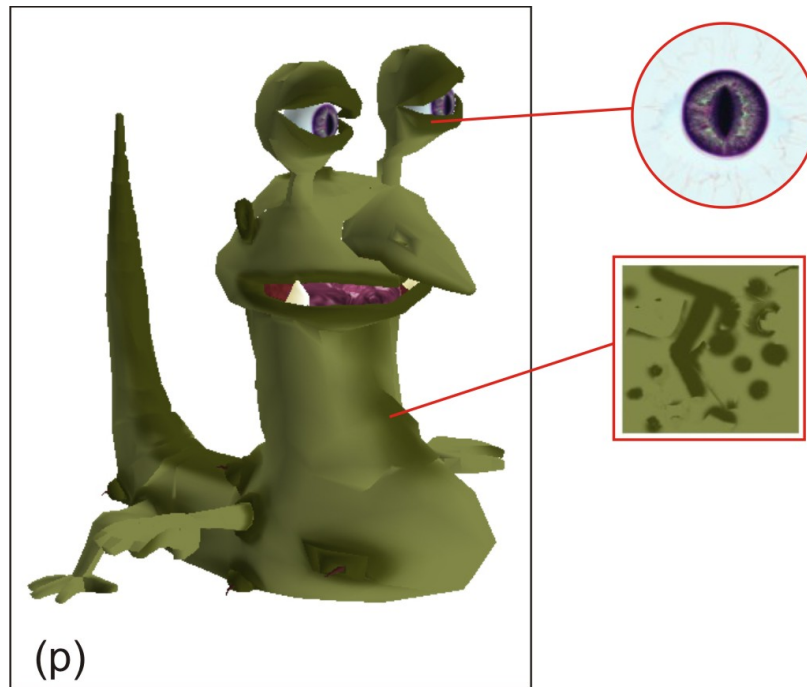


Figura 4.29: Modelo Estudado.

Avaliação Medidas	Herança do modelo (i)				Herança do modelo (j)			
	Mod.(a)	Mod.(b)	Mod.(c)	Mod.(d)	Mod.(c)	Mod.(d)	Mod.(e)	Mod.(f)
Olhos 01	1	x	x	x	x	1	x	x
Olhos 02	x	x	x	0	1	x	x	x
Pele 01	x	0	x	x	0	x	x	x
Pele 02	x	x	x	0	1	x	x	x
Medida 01	x	x	0	x	1	x	x	x
Medida 02	x	0	x	x	x	x	1	x
Medida 03	x	x	1	x	x	0	x	x
Medida 04	x	x	0	x	x	1	x	x
Medida 05	x	x	0	x	1	x	x	x
Medida 06	0	x	x	x	x	x	1	x
Medida 07	x	x	1	x	0	x	x	x
Medida 08	x	0	x	x	x	x	1	x
Medida 09	x	0	x	x	x	x	1	x
Medida 10	1	x	x	x	0	x	x	x
Medida 11	1	x	x	x	0	x	x	x
Medida 12	x	x	x	0	x	x	x	1
Medida 13	x	x	0	x	1	x	x	x
Medida 14	x	x	x	0	x	x	1	x
Medida 15	x	0	x	x	x	x	x	1
Medida 16	1	x	x	x	x	0	x	x

Tabela 4.5: Mapeamento genético modelo Criatura I (p).

Nesse mapeamento, é possível verificar, na Tabela 4.5, que o modelo (p) possui um gene dominante e três recessivos para a cor dos olhos e três genes dominantes e um recessivo para a cor da pele. A Figura 4.29 mostra que o resultado está de acordo com o que foi definido na Figura 4.18. Os genes da profundidade do nariz (medida 1) foram herdados, por parte de pai e mãe, do modelo (c), desta forma certamente este gene é manifestado. É possível verificar visualmente que os únicos genes capazes de definir a altura do pescoço do modelo mapeado seriam herdados do modelo (a) ou (b). Conforme a Tabela 4.5, os genes que definem a altura do pescoço (medida 11) foram herdados dos modelos (a) e (c), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (a), o que é verificado visualmente. Os genes do comprimento do tronco (medida 14) foram herdados dos modelos (d) e (e), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (e). Os genes do comprimento do rabo (medida 15) foram herdados dos modelos (b) e (f), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (f). A mesma análise pode ser feita para todas as medidas, comparando o resultado visual com o mapeamento da Tabela 4.5.

Estudo de caso 5 (Figura 4.30):

Os modelos (a) e (b) são os únicos que têm pescoços longos enquanto (c), (d) e (e) têm pescoços curtos. Os modelos (c) e (d) têm a menor parte vertical das pernas e a maior parte horizontal. O modelo (f) é o único com dedos curtos. Há muitas combinações destes e de outros traços, mas apenas os pais (k) e (l) e seus descendentes são analisados a seguir. Ambos os pais têm pescoços e pernas curtas, mas alguns de seus descendentes têm pescoços longos, tais como os modelos (m), (o) e (r) e outros têm pernas longas, tais como os modelos (m), (n) e (q). O pescoço longo veio dos pais (a) ou (b), mas foi escondido em (k), e as pernas longas foram herdadas de (a), (b), (e) e (f), mas escondidas em ambos (k) e (l). Ambos os pais também têm dedos longos, mas alguns de seus descendentes têm dedos curtos, tais como os modelos (m), (n) e (s). Analisando a árvore genealógica, subindo ou descendo, é possível ver diversas outras combinações. Alguns modelos gerados são ilustrados em maiores detalhes no Apêndice A.5.

A Tabela 4.6 mostra, para um dado modelo, a carga genética herdada dos progenitores iniciais. A mesma análise de concentração de genes, feita nos modelos de Gato e Criatura I, pode ser feita neste caso, verificando uma maior concentração de genes herdados dos modelos (c) e (d).

Modelo	Mod. (a)	Mod. (b)	Mod. (c)	Mod. (d)	Mod. (e)	Mod. (f)
Criatura II (m)	6,3%	6,3%	34,4%	12,5%	12,5%	28,1%
Criatura II (n)	12,5%	18,8%	18,8%	18,8%	6,3%	25,0%
Criatura II (o)	15,6%	15,6%	31,3%	12,5%	6,3%	18,8%
Criatura II (p)	12,5%	9,4%	37,5%	18,8%	9,4%	12,5%
Criatura II (q)	15,6%	15,6%	28,1%	15,6%	12,5%	12,5%
Criatura II (r)	10,4%	16,7%	12,5%	29,2%	6,3%	25,0%
Criatura II (s)	9,4%	9,4%	31,3%	12,5%	9,4%	28,1%

Tabela 4.6: % de genes herdados dos modelos iniciais na simulação da Criatura II.

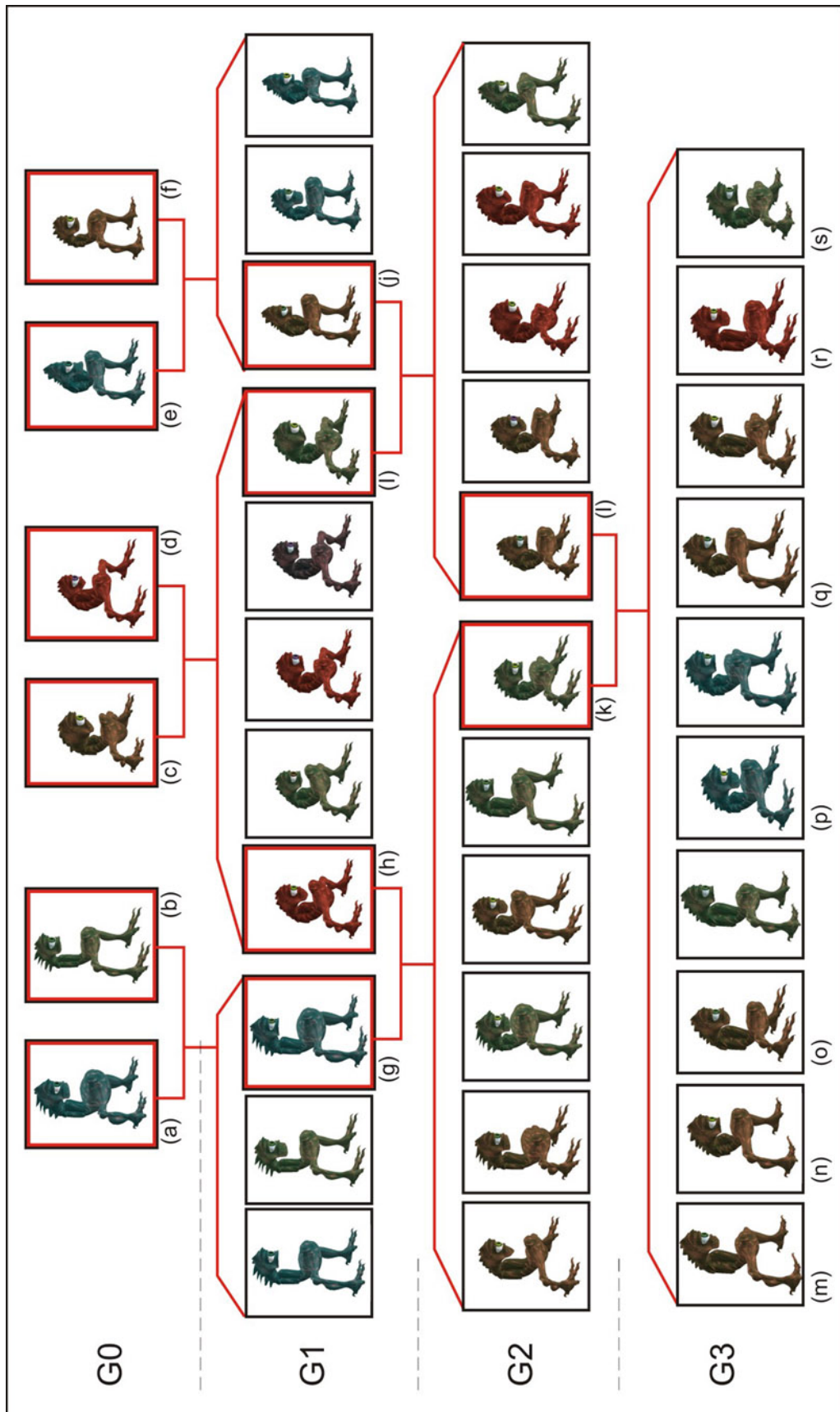


Figura 4.30: Árvore genealógica de modelos Criatura II.

Para uma análise mais detalhada, foi utilizado o modelo (m) (Figura 4.32) para um mapeamento completo dos genes, identificando a origem e pesos aplicados a todos os genes herdados dos progenitores iniciais (Figura 4.31). A Tabela 4.7 mostra o rastreamento de todos os genes do modelo(m), gerado por dominância completa, com seus respectivos pesos, assim como nos estudos de casos anteriores, possibilitando a identificação de medidas dominantes dos modelos gerados, em cada um dos modelos progenitores iniciais. As medidas indicadas na tabela são identificadas e ilustradas no Apêndice A.

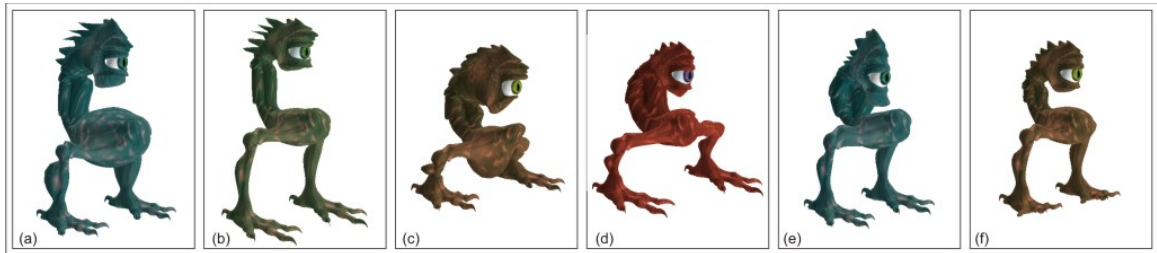


Figura 4.31: Progenitores Iniciais.

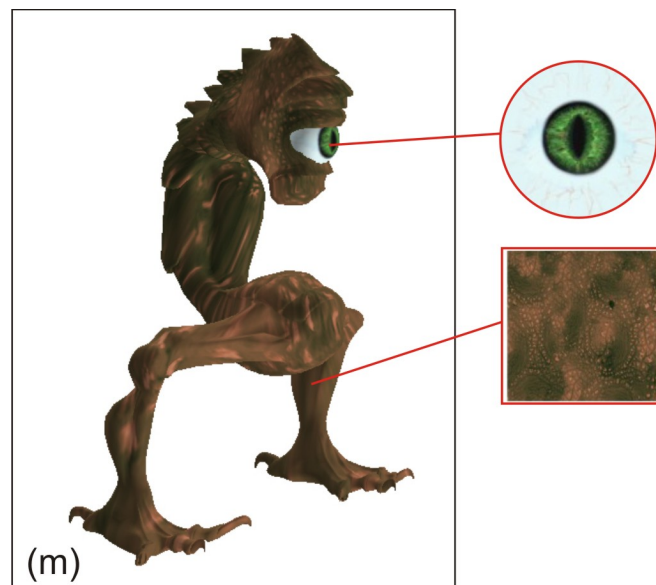


Figura 4.32: Modelo Estudado.

Nesse mapeamento, é possível verificar, na Tabela 4.7, que o modelo (p) possui um gene dominante e três recessivos para a cor dos olhos e dois genes dominantes e dois recessivos para a cor da pele. A Figura 4.32 mostra que o resultado está de acordo com o que foi definido na Figura 4.18. Os genes da altura do pescoço (medida 7) foram herdados dos modelos (b) e (f), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (b). A diferença entre as medidas dos modelos iniciais é grande, o que torna fácil a identificação da atuação do gene do modelo (b). Os genes que definem a altura das pernas (medida 9) foram herdados dos modelos (a) e (c), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (a). É possível verificar visualmente que a altura das pernas do modelo mapeado está de acordo com a medida do modelo (a) e bem diferente do modelo (c), cujo gene está oculto. Os genes que definem o comprimento das unhas (medida 11) foram herdados

Avaliação Medidas	Herança do modelo (i)	Herança do modelo (j)
	Mod.(a)-Mod.(b)-Mod.(c)-Mod.(d)	Mod.(c)-Mod.(d)-Mod.(e)-Mod.(f)
Olhos 01	x - x - 0 - x	x - x - 0 - x
Olhos 02	x - x - x - 0	x - x - 1 - x
Pele 01	x - x - 1 - x	x - x - x - 0
Pele 02	x - x - x - 0	x - x - 1 - x
Medida 01	x - x - 0 - x	1 - x - x - x
Medida 02	x - x - 0 - x	x - x - x - 1
Medida 03	x - x - 1 - x	x - x - x - 0
Medida 04	1 - x - x - x	x - x - x - 0
Medida 05	x - x - x - 1	x - x - 0 - x
Medida 06	x - x - 0 - x	1 - x - x - x
Medida 07	x - 1 - x - x	x - x - x - 0
Medida 08	x - x - x - 1	x - x - x - 0
Medida 09	1 - x - x - x	0 - x - x - x
Medida 10	x - 0 - x - x	x - x - x - 1
Medida 11	x - x - 0 - x	x - x - x - 1
Medida 12	x - x - 1 - x	x - x - x - 0

Tabela 4.7: Mapeamento genético modelo Criatura II (m).

dos modelos (c) e (f), porém, o gene dominante (peso 1) foi herdado do modelo (f). Visualmente esta seria a única opção coerente, pois o modelo (f) é o único modelo inicial com unhas curtas, o que foi confirmado pelo mapeamento apresentado na Tabela 4.7. A mesma análise pode ser feita para todas as medidas, comparando o resultado visual com o mapeamento da Tabela 4.7.

A Tabela 4.8 mostra as medições de desempenho da simulação em cada estudo de caso, com o número de vértices de cada modelo e o tempo, em milissegundos, para gerar um descendente. A tabela mostra os resultados sem a otimização descrita na Figura 3.25 e com a otimização. Analisando, primeiramente, os resultados sem a otimização, pode-se observar que, embora o modelo do Gato tenha mais vértices do que o da Criatura II, o tempo de geração dos descendentes é menor. Isso acontece devido ao tipo e número de deformações envolvidas. No entanto, as medidas de tempo indicam que a aplicação é viável para tempo real. Mesmo com o bom desempenho apresentado, utilizando a otimização foi possível reduzir bastante o tempo, limitando a área de busca dos vértices em cada aplicação de deformação esférica. Vértices que se encontram nos pés do modelo nunca serão movidos por adaptações na face. Foram feitos estudos de otimização nos estudos de caso dos modelos gato e Criatura I, com resultados mostrados na Tabela 4.8. A redução de tempo no estudo do modelo gato foi maior devido ao fato deste modelo ter maior número de vértices e maior número de medidas a serem adaptadas pelo sistema de translação por zonas de influência esférica.

Modelo	Humano	Gato	Criatura I	Criatura II
Vertices	2076	9980	4139	9440
Tempo	31	640	249	765
Tempo com otimização	–	265	234	–

Tabela 4.8: Medidas de tempo, em milisegundos (Pentium Dual Core, 1.46GHz, 2GB Ram).

4.5 Considerações Finais

Neste capítulo, é mostrado como o modelo proposto nesse trabalho é capaz de transferir de forma automática as características genéticas de um personagem virtual por meio da reprodução simulada de seres diploides. Esse modelo permite gerar famílias virtuais de diferentes criaturas, incluindo cabeça e corpo, sendo capaz de gerar modelos bastante realistas. Também foi demonstrado que, diferente das técnicas relatadas na literatura, a técnica proposta é capaz de transmitir características genéticas que poderão se manifestar depois de várias gerações dentro da árvore genealógica. Técnicas de *morphing* não são capazes de fazer isso. Assim, com o modelo proposto, é possível simular relações de parentesco e interação entre as populações isoladas, com características étnicas bem definidas. O processo adapta o modelo de acordo com as informações genéticas armazenadas em uma estrutura cromossômica diploide. A adaptação do modelo utiliza pontos, que foram definidos por *landmarks* antropométricos cujos subgrupos especificam as características que são armazenadas como genes, em pares de cromossomos homólogos. Através do processo de meiose simulada, aplicada à estrutura cromossômica de dois modelos paternos, gametas são gerados e então utilizados em uma fecundação simulada. Os estudos de casos demonstraram o poder do modelo. É importante mencionar que, apesar das analogias da reprodução biológica, o método tem clara diferença em relação às técnicas de algoritmos genéticos e tem diferentes objetivos. Algoritmos genéticos são aplicados para a solução de otimização de problemas, utilizando o paradigma da sobrevivência dos mais aptos, que remove as soluções indesejadas dentro do espaço de busca, com base em cruzamento e mutação. Também foi claramente demonstrado através dos estudos de casos que o método é completamente diferente de técnicas de *morphing*.

5 MANIPULAÇÃO DE PERSONAGENS VIRTUAIS

5.1 Introdução

Além da identificação de características físicas herdadas, também existem fatores que podem transformar o corpo de um indivíduo, que são os chamados fatores epigenéticos. O ganho ou perda de peso, devido a dietas distintas ou alterações na massa muscular, são exemplos de manipulações necessárias nos sistemas mencionados. Adaptações momentâneas de malha, como a geração de expressões faciais de criaturas diversas, também exigem um sistema simples e genérico que possa ser aplicado em tempo real. Além disso algumas aplicações podem exibir personagens com estilos diferentes, alguns mais sóbrios e outros com aspecto de humor. A seguir, são apresentadas técnicas para manipulação de medidas corporais por fatores epigenéticos, geração de expressões e caricaturas.

5.2 Manipulação de Medidas Corporais por Fatores Epigenéticos

Além da identificação das características físicas herdadas, há outros fatores que podem transformar o corpo de um indivíduo, que são chamados de fatores epigenéticos. O ganho ou perda de peso devido a diferentes dietas e mudanças nos músculos são exemplos de manipulações necessárias nos sistemas de simulação de vida, jogos e aplicações de realidade virtual. As aplicações atuais normalmente constroem modelos distintos, apenas mudando texturas e acessórios ou aplicando transformações globais de escala. Essa forma de gerar personagens virtuais variados é muito pobre e deixa o usuário com a sensação de estar em um ambiente com modelos sem identidade própria, por serem muito semelhantes. Uma alternativa para ter modelos fisicamente distintos é armazenar um grande banco de dados de formas diferentes do corpo, mas isso requer um grande esforço de modelagem e talento artístico. O método proposto nesse trabalho é uma solução complementar à geração de personagens por reprodução simulada, alterando medidas corporais influenciadas por fatores epigenéticos, por deformações de modelos baseados em malha triangularizada. Nesse método, usamos um modelo base para definir as regras de adaptação do corpo e, em seguida, transferir automaticamente para novos modelos gerados pelo sistema de reprodução.

5.2.1 Fatores Epigenéticos

O termo epigenética refere-se a todas as mudanças funcionais, reversíveis e herdáveis, no genoma sem alterar a sequência dos nucleotídeos do DNA. A epigenética consiste no estudo dos fatores que influenciam essas mudanças funcionais no genoma, ou seja, a maneira como os genes se exprimem. Está relacionada com a variabilidade fenotípica dos indivíduos, pela via da ativação ou silenciamento de genes.

A epigenética leva em consideração os fatores bioquímicos que ligam e desligam os genes, e isso tem a ver com o meio ambiente onde estão as células e o organismo como um todo. Muitas vezes, os genes estão presentes, mas são ativados ou desativados por enzimas, proteínas, hormônios e outros mediadores. As adaptações que os genes sofrem para adequar a célula ou organismo ao seu meio ambiente podem acontecer sem que seus nucleotídeos sejam alterados, e os genes podem ser simplesmente desligados. A diferença entre a epigenética e uma mutação está no fato de que essa última altera a sequência das letras, ou dos nucleotídeos, dos genes geralmente por ação de fatores externos, como agentes químicos ou físicos, durante o processo de reduplicação do genoma, ou por um mero acidente bioquímico.

Entre os fatores epigenéticos mais citados estão os fatores ambientais como alimentação, poluição, drogas e exercícios, que podem modificar o padrão de ativação e desativação dos genes durante a divisão celular.

5.2.2 Conceito de Manipulação de Medidas

Utilizando o sistema de adaptação de medidas descrito na Seção 3.3, é possível alterar medidas corporais de modelos baseados em malhas triangularizadas. Com uma combinação de *landmarks* corporais para a definição do posicionamento da zona de influência e escolha do tipo de manipulação a ser feita (translação ou escala) é possível estabelecer padrões de adaptação. Alguns *landmarks* e medidas corporais foram apresentados na Seção 3.3. A Figura 5.1 ilustra a manipulação de medida da cintura de um modelo humano. Para alterar as medidas da cintura do modelo, dando um aspecto de que o personagem engordou, posiciona-se a esfera utilizando os pontos destacados na Figura 5.1(a) e emprega-se a deformação por aplicação de escala. Os pontos da cintura definem o posicionamento nos eixos X e Y. A esfera fica centrada no ponto médio das coordenadas X dos pontos e na altura Y dos mesmos. A coordenada Z é definida utilizando também o ponto do umbigo do personagem, como parte da combinação. Como o objetivo é expandir a região do abdômen, a esfera deve ficar mais próxima do ponto do umbigo. Definido o posicionamento da esfera, estabelece-se outra regra para o tamanho inicial de seu raio. Para obter a expansão da região, a esfera deve ter um raio pequeno. Neste estudo o diâmetro da esfera é igual à distância entre os pontos da cintura destacados na Figura 5.1(a). Após esses posicionamentos e definições iniciais das zonas de influência, deforma-se a região por aplicação de escala sobre a zona de influência esférica (vide Seção 3.3), aumentando o raio da esfera. O resultado dessas operações está ilustrado na Figura 5.1(b).

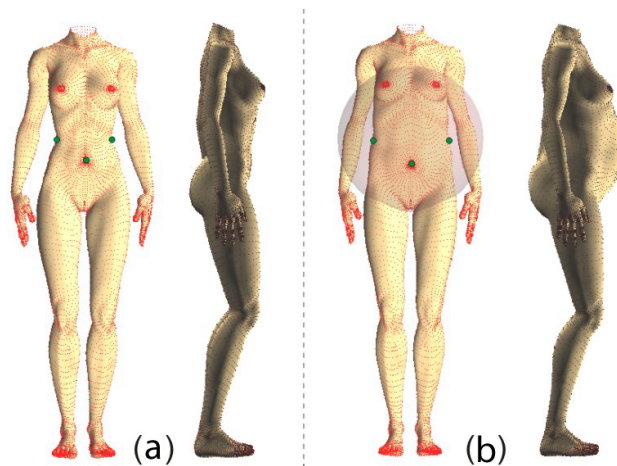


Figura 5.1: Alteração de medida da cintura com deformação por escalonamento.

É possível alterar as medidas da cintura de outras formas. O personagem pode ser magro, mas não ter a cintura muito bem definida. Para alterar a medida da cintura sem dar um aspecto de aumento de peso, pode-se usar a deformação com translação, conforme ilustrado na Figura 5.2. Nesse caso, utilizam-se duas esferas, uma para cada lado do corpo. Posicionam-se as esferas exatamente nos pontos da cintura destacados na Figura 5.1(a). A Figura 5.2(a) mostra a posição inicial e a Figura 5.2(b) a posição final, após a translação no eixo X, aumentando a medida da cintura.

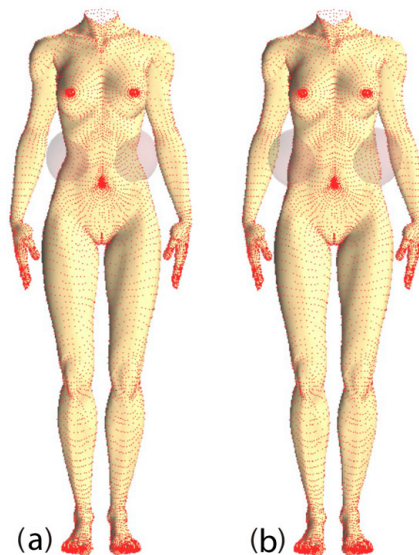


Figura 5.2: Alteração de medida da cintura com deformação por translação.

Esses são apenas dois exemplos de manipulação de medidas do corpo. As Figuras 5.3 e 5.4 ilustram algumas outras variações de medidas realizadas de forma aleatória e manual.

Após estudo detalhado das formas de manipulação de medidas e da definição de suas regras de manipulação, pode-se transferi-las para outros modelos com características físicas semelhantes. A Figura 5.5 ilustra o processo geral de transferência de manipulação de medidas corporais.

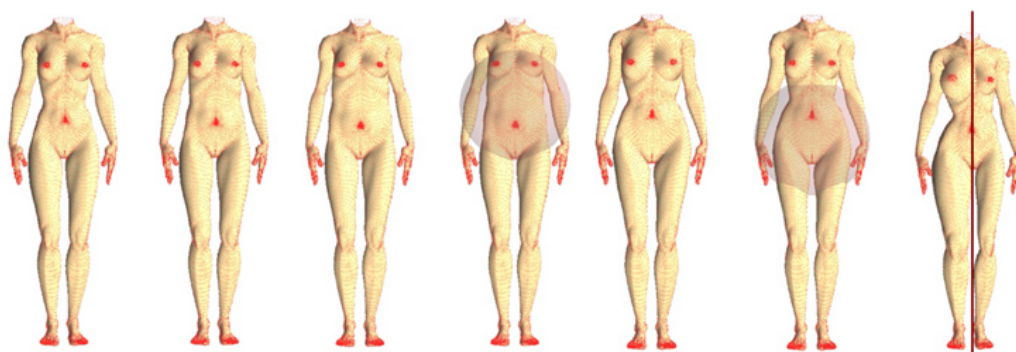


Figura 5.3: Visão frontal de manipulações de medidas corporais.



Figura 5.4: Visão lateral de manipulações de medidas corporais.

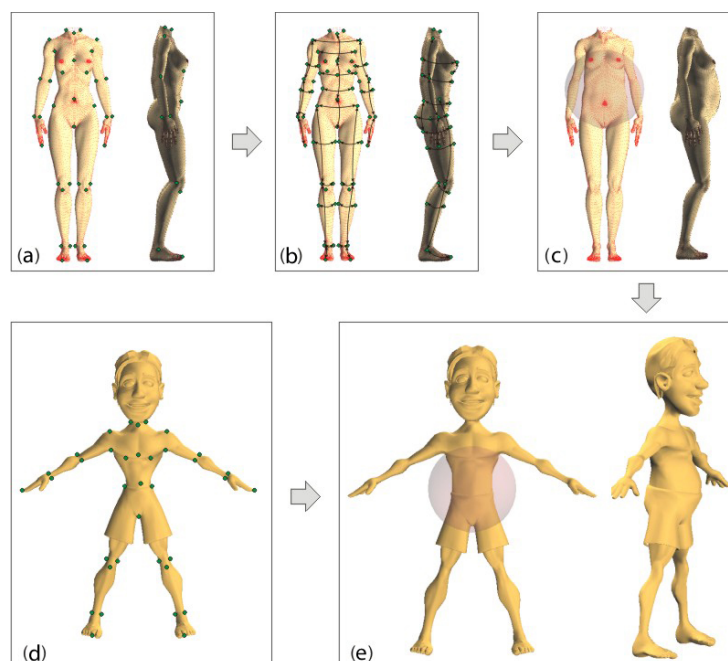


Figura 5.5: Método de transferência de medidas corporais. (a) Modelo base com seus *landmarks*. (b) Medidas antropométricas. (c) Regras de deformação definidas no modelo base. (d) *Landmarks* do modelo a ser alterado. (e) Aplicação de regras de deformação no novo modelo.

Inicialmente, é definido um modelo base com seus *landmarks* (Figura 5.5(a)) e medidas antropométricas (Figura 5.5(b)). As deformações definidas no modelo base (Figura 5.5(c)) podem ser transferidas para outros modelos (Figura 5.5(d) e 5.5(e)) com a utilização de zonas de influência com transformações de translação e escala. Com esse método, é possível utilizar qualquer modelo com diferentes topologias apenas identificando seus *landmarks* antropométricos e aplicando transformações, comparando com o modelo base. Com a definição do conjunto de deformações que podem ser aplicadas sobre as medidas antropométricas, é possível gerar uma grande variabilidade de modelos com medidas diferentes do corpo, para serem utilizados em aplicações de realidade virtual e jogos. Nos exemplos a seguir, foi utilizado o modelo da Figura 5.6 como estudo de caso.

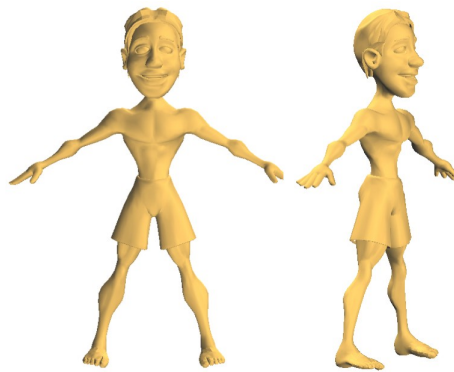


Figura 5.6: Modelo para transferência de manipulação de medidas.

O primeiro passo é identificar os *landmarks* corporais do novo modelo, conforme ilustrado na Figura 5.7(a). Essa identificação pode ser feita utilizando um sistema simples de *picking*. Em seguida, pode-se aplicar as mesmas regras definidas no modelo base. A Figura 5.7(b) ilustra o posicionamento da esfera para deformação por aplicação de escala, conforme definido no modelo base e ilustrado na Figura 5.1. Os resultados obtidos após a aplicação dessa deformação estão ilustrados na Figura 5.7(c). Esse é apenas um exemplo de aplicação de uma das regras que podem ser definidas sobre o modelo base. Se todas essas regras forem aplicadas, modelos com características corporais diversas seriam gerados. Essa técnica pode ser utilizada em qualquer modelo com malha triangularizada, independente de sua topologia, conforme ilustrado nos estudos de casos das Figuras 5.8 e 5.9.

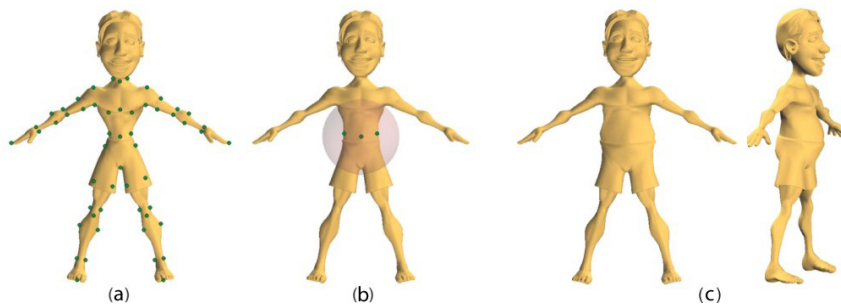


Figura 5.7: Transferência de medidas. (a) Identificação de *landmarks*. (b) Aplicação de deformação por escala. (c) Novas medidas aplicadas ao modelo.

Nos estudos de casos são apresentados alguns resultados com a adaptação de medidas nos braços, pernas, abdômen, etc. Tais adaptações foram feitas em medidas complementares aos resultados da simulação do processo reprodutivo, ou seja, em medidas relativas a alterações por fatores epigenéticos. São alterações relativas a ganho ou perda de peso ou musculatura.

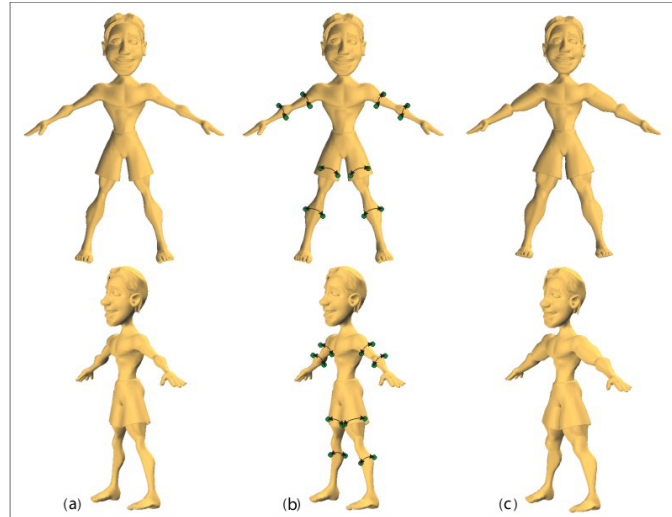


Figura 5.8: Aplicação de deformações nos braços e pernas.

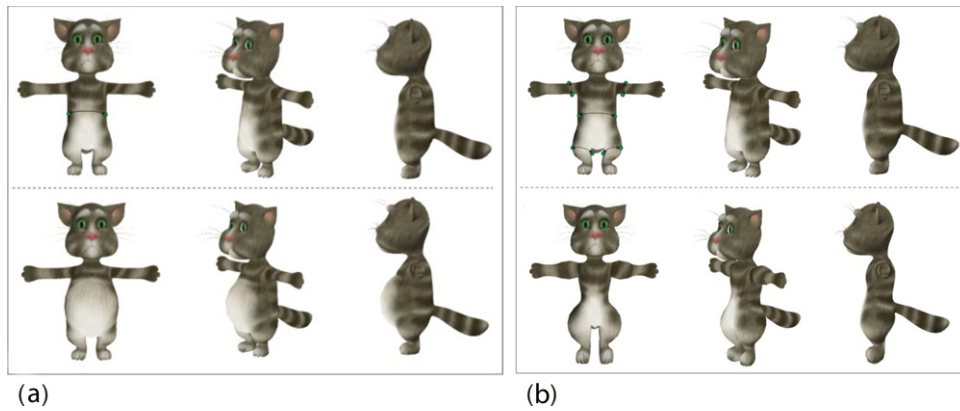


Figura 5.9: Transferência de medidas. (a) Aplicação de deformações na região do abdômen. (b) Aplicação de deformações na região do abdômen, braços e pernas.

Os resultados mostraram-se satisfatórios, porém, os modelos devem ter características físicas semelhantes, o que não ocorre nos estudos de casos do Capítulo 4. Os modelos Criatura I e II possuem características bem distintas dos demais. Não sendo possível definir um modelo genérico que atenda a todos os casos, é proposto um método baseado em populações de seres reproduzidos. No capítulo anterior foi demonstrado a possibilidade de grande variedade de modelos resultantes do processo reprodutivo. Com a definição de regras de manipulação corporal para um determinado personagem, é possível transferi-la para os demais modelos gerados durante a simulação, pois estes possuem características corporais semelhantes aos seus progenitores iniciais. Todo o processo é semelhante ao descrito anteriormente, com o acréscimo de alguns detalhes.

5.2.3 Manipulação de Medidas em Personagens Reproduzidos

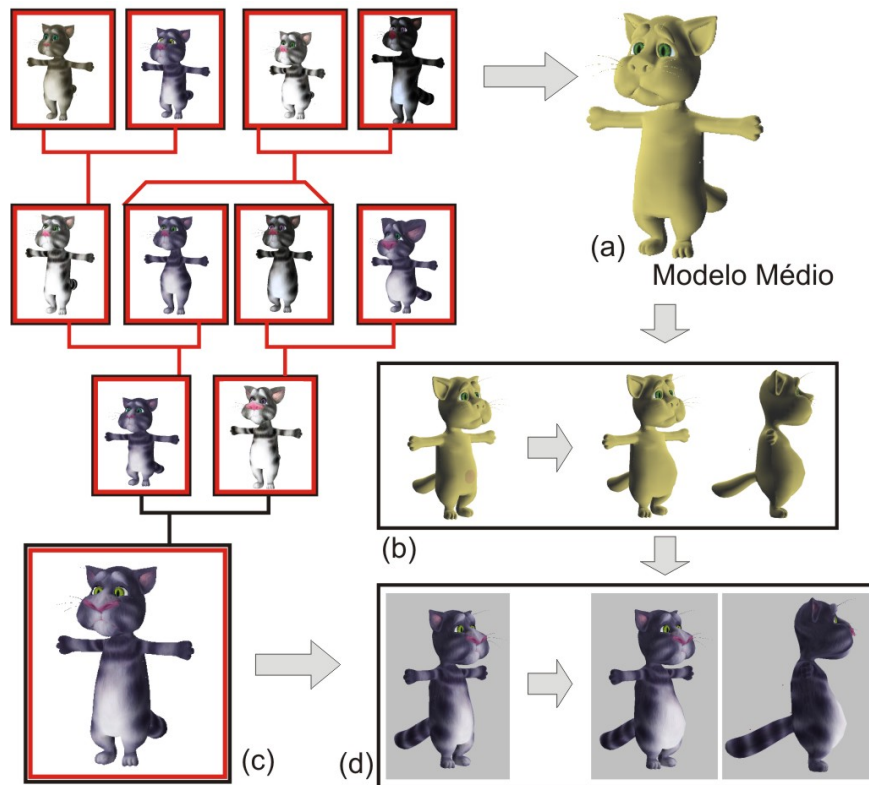


Figura 5.10: Manipulação corporal aplicado a personagens reproduzidos. (a) Cálculo do modelo médio a partir dos progenitores iniciais. (b) Definição das regras de manipulação, utilizando o modelo médio. (c) Simulação do processo reprodutivo. (d) Aplicação das manipulações corporais nos novos modelos.

No início da simulação de reprodução, o modelo médio dos progenitores iniciais é calculado (Figura 5.10(a)). Com o modelo médio, são definidas as regras de manipulação corporal (Figura 5.10(b)). Com o modelo médio e as regras de manipulação, é feita a simulação de transferência automática de características genéticas de todo o corpo dos personagens virtuais, através da simulação de reprodução diploide (Figura 5.10(c)). Durante a execução da aplicação, com os novos personagens produzidos, é possível aplicar as regras de manipulação corporal de forma automática (Figura 5.10(d)). Com esta solução, novos personagens podem ser gerados no sistema de reprodução e apresentar variações corporais à medida que os modelos interagem no ambiente.

A Figura 5.11 define os passos adotados no processo de transferência de manipulação de medidas por fatores epigenéticos. Este trabalho não tem a pretensão de estabelecer regras de manipulação para diversas alterações por fatores epigenéticos, mas estabelecer um modelo conceitual e ilustrá-lo com alguns estudos de casos. A partir deste modelo, é necessário definir regras específicas para as diversas criaturas com diferentes formas corporais e como estas regras são ativadas à medida que os personagens interagem com o ambiente. Nos estudos de casos realizados, foram definidas regras para o ganho de peso pelo acúmulo de gordura na região abdominal.

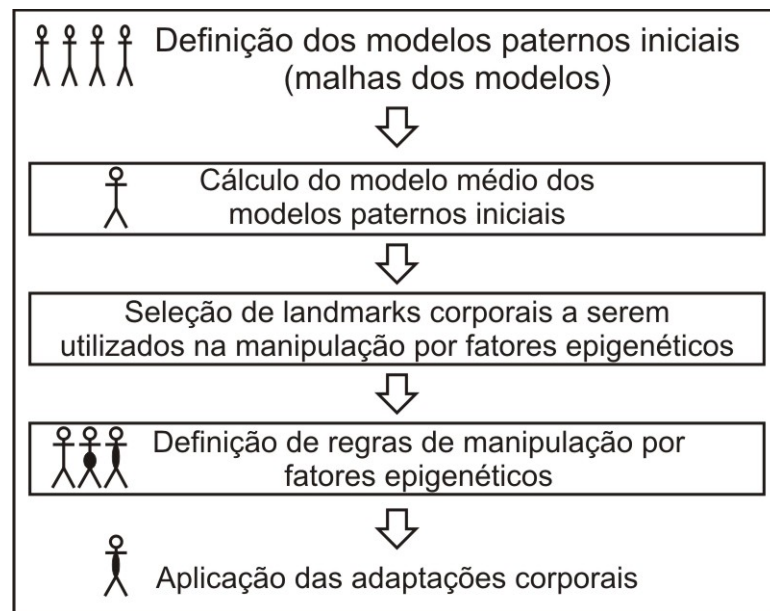


Figura 5.11: Passos para adaptação por fatores epigenéticos.

Passo 1: Definição do modelo base.

Inicialmente, um modelo base é definido para ser utilizado como um modelo de regras de adaptação. Para assegurar que este modelo base é geometricamente próximo a qualquer outro da população estudada, este é definido como a média dos progenitores iniciais do sistema de reprodução. Caso os modelos masculinos e femininos tenham características físicas muito distintas, pode-se utilizar modelos médios por gênero, conforme ilustrado na Figura 4.17. Nos estudos de caso utilizados nesse trabalho, não existem grandes variações que justifiquem tal distinção; desta forma, foi utilizado o modelo médio de todos os modelos, independente de gênero. Uma vez que os modelos de cada personagem possui mesma topologia, o modelo médio é encontrado com o simples cálculo da média das coordenadas de cada vértice das malhas dos progenitores iniciais. Nos estudos de caso do gato e Criatura I, os modelos médios são ilustrados na Figura 5.12.

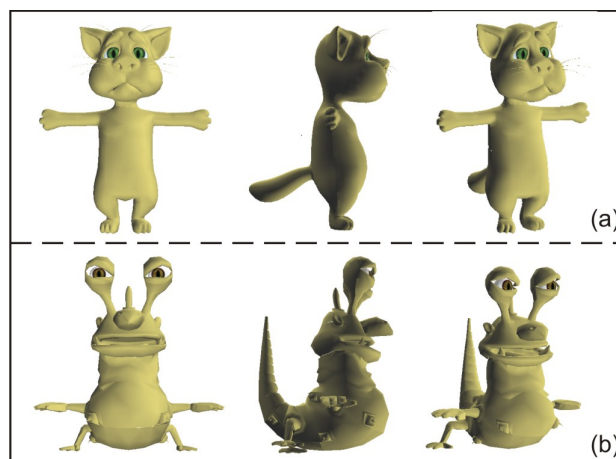


Figura 5.12: Modelos médios. (a) Gato. (b) Criatura I.

Passo 2: Definição das regras de adaptação.

Conforme discutido na Seção 5.2.2, existem muitas maneiras distintas de alteração de medições, usando adaptação por escala e translação de zonas de influência, para aplicar o ganho ou a perda de peso, alterações na musculatura, entre outras possíveis alterações corporais. Para este estudo, foi definida uma adaptação por escala para ganho de peso com o aumento da região abdominal. Nesta etapa os *landmarks* que definem as medidas são identificados (pontos em amarelo da Figura 5.12(a)). Em seguida, é definido o raio inicial a ser utilizado em uma transformação de escala. No estudo de caso do modelo gato, o raio inicial da esfera é definido como ilustrado na Figura 5.13(a) e o raio final na Figura 5.12(b). A posição da esfera depende da forma do corpo do personagem. No caso de estudo do gato, a posição da esfera é definido por três pontos. Os dois pontos que definem o raio da esfera e um terceiro ponto definido pelo umbigo. Uma vez que o objetivo é expandir o abdômen, a esfera deve estar mais próximo do ponto do umbigo. Para assegurar isto, foi utilizada uma média ponderada entre a coordenada Z de um dos marcos que definem o raio e o terceiro ponto, dando peso de quatro para o terceiro ponto. A posição das coordenadas X e Y foi definida como a média dos dois pontos que definem o raio. O raio final da transformação de escala foi definida como o dobro do raio inicial no caso de estudo do gato. A Figura 5.13(c) ilustra o resultado final após a aplicação da regra de manipulação corporal no modelo médio deste estudo.

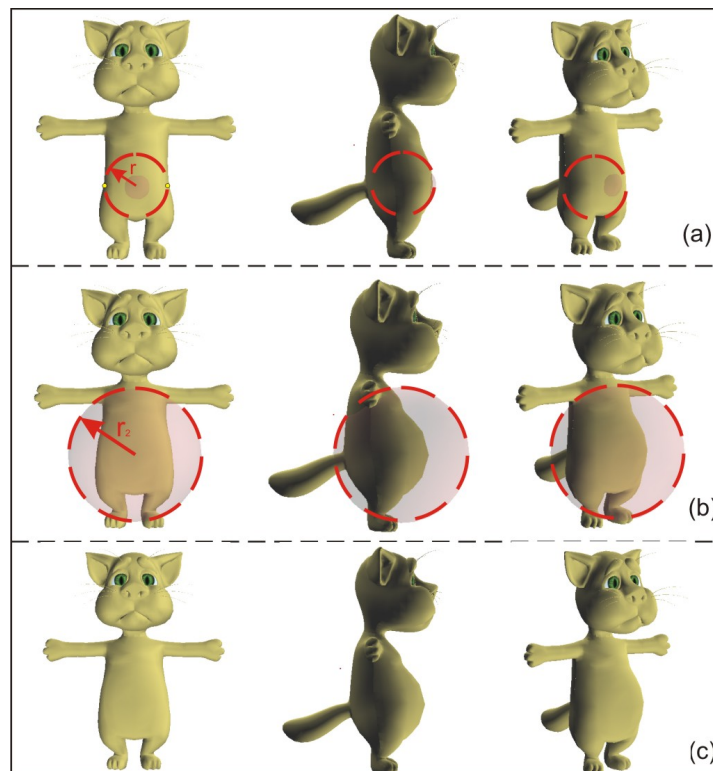


Figura 5.13: Regra de adaptação aplicado ao modelo gato.

No estudo de caso da Criatura I, a posição da esfera é simplesmente definida pela média dos dois pontos de referência que definem o raio (Figura 5.14(a)). O raio inicial e final são ilustrados nas Figuras 5.13(a) e 5.13(b). O raio final da transformação de escala foi

definida como 2,5 vezes o raio do modelo inicial. A Figura 5.13(c) ilustra o resultado da aplicação da regra no modelo média da Criatura I.

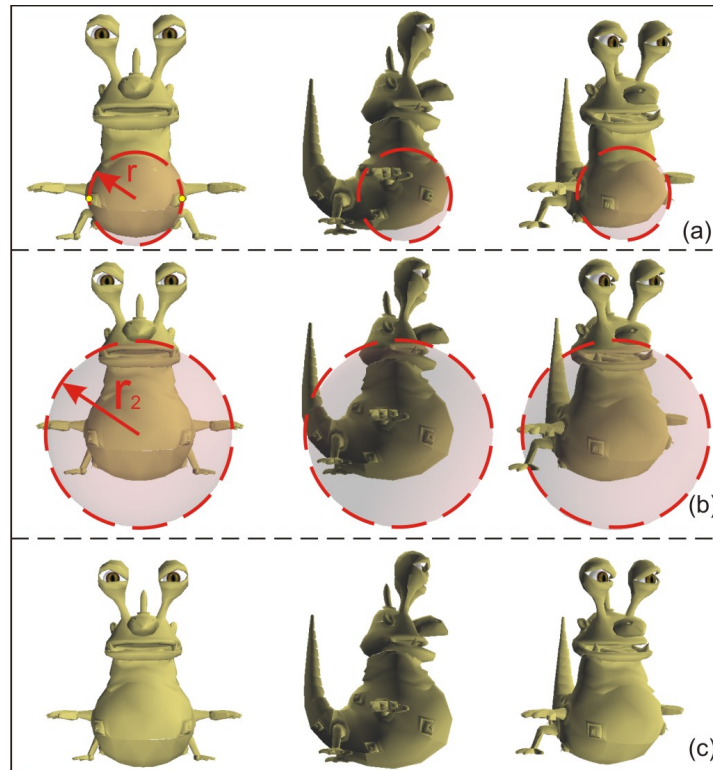


Figura 5.14: Regra de adaptação aplicado ao modelo Criatura I.

Com estas regras de definição de raios baseadas em medidas calculadas por *landmarks*, cada modelo com medições diferentes terá raios inicial e final diferentes. Com este método, é possível utilizar quaisquer novos modelos reproduzidos, com a mesma topologia, aplicando transformações de escala e translação, comparando com o modelo de base. Este método produz resultados personalizados, diferente de métodos que utilizam *morphing* puro, onde o fator de adição é igual para todos os modelos. Com a definição do conjunto de possíveis alterações corporais por fatores epigenéticos e deformações que podem ser aplicadas sobre as medições, pode-se gerar uma grande variedade de formas do corpo à medida que os personagens interagem com o ambiente. Neste estudo, apresentamos os resultados da aplicação das regras definidas nas figuras 5.12 e 5.13.

Passo 3: Aplicação das regras de adaptação.

Para cada modelo a ter suas medidas alteradas, é extraída a medida definida pelos *landmarks* estabelecidos pelas regras do passo anterior. Com essas medidas, são definidos os raios iniciais e posição da esfera de influência. Com a configuração inicial definida, é aplicada a transformação de escala, com a variação de raio também estabelecida no passo anterior. As figuras 5.15 e 5.16 mostram os resultados da aplicação das regras para alguns modelos das árvores genealógicas dos estudos de casos gato e Criatura I. As Tabelas 5.1 e 5.2 mostram os raios iniciais e as medidas iniciais e finais dos mesmos estudos das tabelas, dos modelos gato e Craitura I, onde k é o raio inicial do modelo médio usado para definir as regras de adaptação.

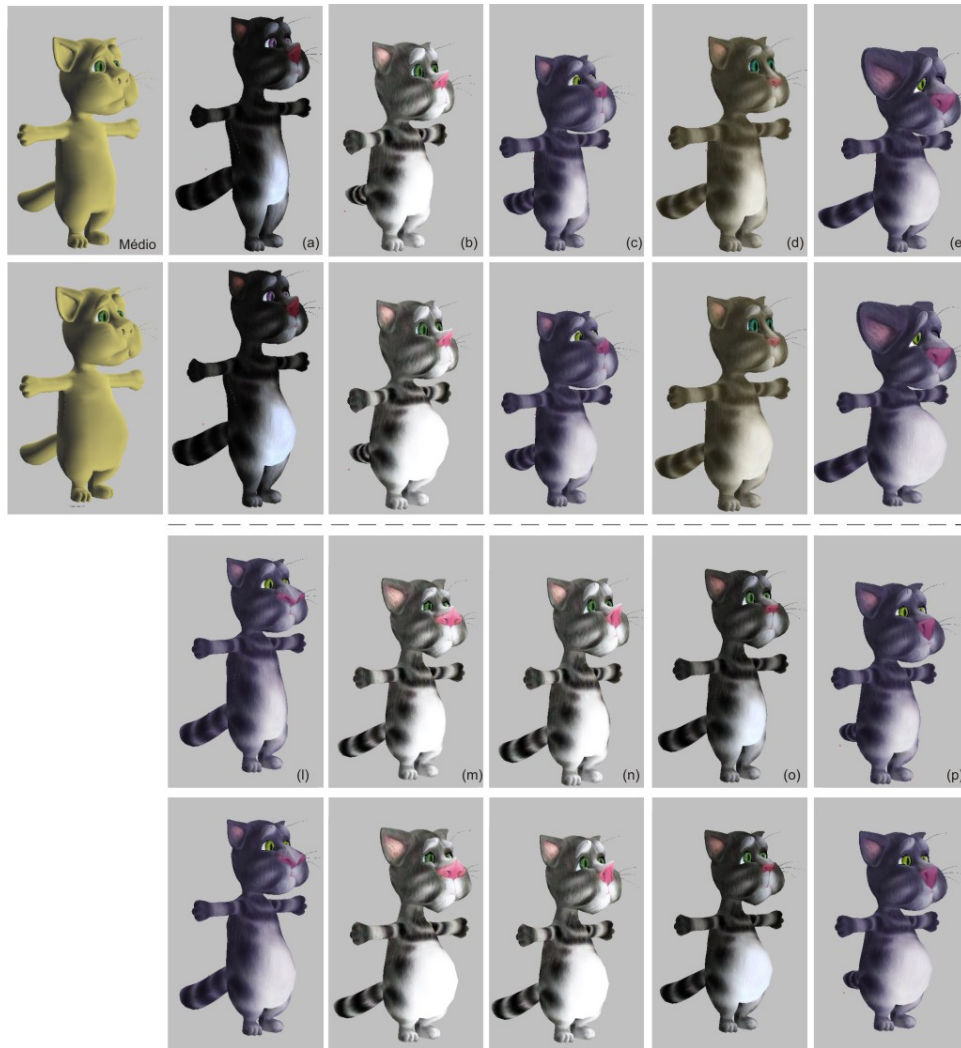


Figura 5.15: Aplicação de regras de manipulação corporal nos modelos progenitores iniciais (a) a (e) e terceira geração da árvore genealógica (modelos (l) a (p)).

Modelo	Raio	Medida	Medida final
Modelo médio	k	2k	2.48k
Gato (a)	1.04k	2.08k	2.51k
Gato (b)	1.03k	2.06k	2.50k
Gato (c)	0.90k	1.80k	2.23k
Gato (d)	0.90k	1.80k	2.22k
Gato (e)	1.17k	2.34k	2.90k
Gato (l)	1.02k	2.04k	2.45k
Gato (m)	1.01k	2.02k	2.42k
Gato (n)	1.06k	2.12k	2.57k
Gato (o)	1.03k	2.06k	2.47k
Gato (p)	1.01k	2.02k	2.44k

Tabela 5.1: Adaptação de modelos gato, com acréscimo de 2,0x na escala.

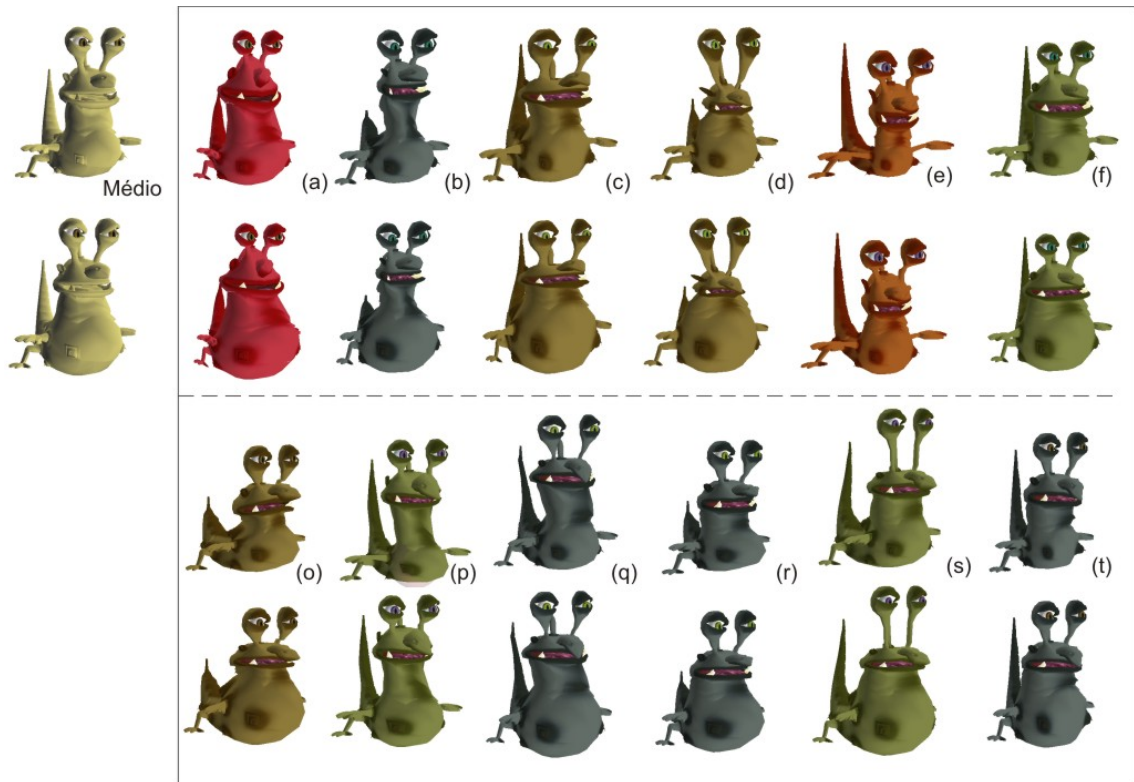


Figura 5.16: Aplicação de regras de manipulação corporal nos modelos progenitores iniciais (a) a (f) e terceira geração da árvore genealógica (modelos (o) a (t)).

Modelo	Raio	Medida	Medida final
Modelo médio	k	2k	2.63k
Criatura I (a)	1.28k	2.56k	3.37k
Criatura I (b)	0.99k	1.98k	2.62k
Criatura I (c)	1.09k	2.18k	2.89k
Criatura I (d)	0.99k	1.98k	2.63k
Criatura I (e)	0.66k	1.31k	1.76k
Criatura I (f)	0.99k	1.98k	2.62k
Criatura I (o)	1.01k	2.02k	2.67k
Criatura I (p)	0.86k	1.73k	2.27k
Criatura I (q)	1.04k	2.07k	2.75k
Criatura I (r)	0.96k	1.92k	2.53k
Criatura I (s)	1.06k	2.12k	2.81k
Criatura I (t)	0.96k	1.92k	2.53k
Criatura I (u)	0.87k	1.74k	2.31k

Tabela 5.2: Adaptação de modelos Criatura I, com acréscimo de 2,5x na escala.

Verifica-se nas Tabelas 5.1 e 5.2 que as medidas dos modelos variam, mas se aproximam da medida encontrada no modelo médio, mostrando que este é uma boa referência para o estabelecimento de regras para transferência de medidas aos demais modelos de um dado personagem. Nota-se que a variação da medida não acompanha de forma linear, o crescimento do raio. Isso permite que a adaptação corporal ocorra de forma suave.

Observa-se também, que este tipo de transformação por escala, pode gerar uma expansão muito rígida de partes do corpo. Uma solução para tornar tais expansões mais flexíveis, seria a adoção de simulação física de tecidos corporais, com o intuito de acomodar o excesso de pele ou gordura. O processo de emagrecimento dos modelos também pode ser feito, adotando o sentido inverso da transformação de escala, definindo um raio inicial superior ao final.

5.3 Geração de Expressões

Criaturas virtuais tridimensionais são personagens ativos em vários tipos de aplicações, tais como realidade virtual, jogos e animação por computador. Os personagens virtuais encontrados nessas aplicações são muito diversos, mas geralmente têm o comportamento e expressões faciais semelhantes aos humanos. O problema abordado nesta seção pode ser sintetizado na seguinte indagação:

“É possível definir uma estratégia de mapeamento simples e geral de expressões faciais entre os modelos de dois personagens virtuais com diferentes características faciais e topologia de malha, em tempo real?”

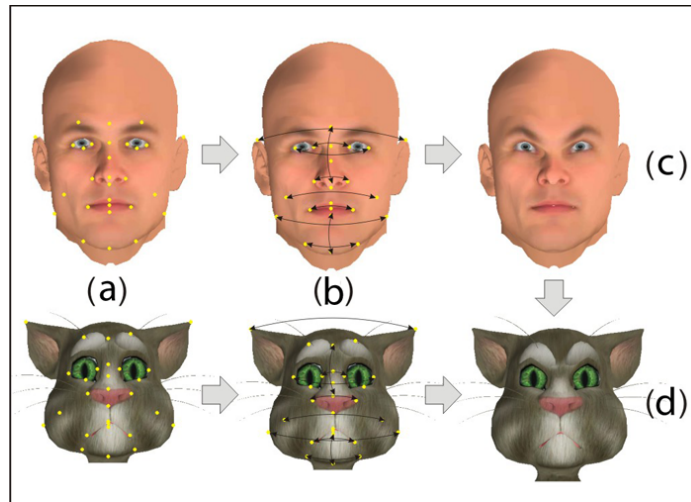


Figura 5.17: Processo geral de transferência de expressões faciais. (a) *Landmarks* do modelo humano. (b) Medidas do modelo base. (c) Geração de expressões e armazenamento de proporções do modelo base. (d) Expressões aplicadas ao segundo modelo, utilizando as proporções do modelo base.

A solução proposta para esse problema é ilustrada na Figura 5.17. Proporções faciais de um modelo base são utilizadas para transferir expressões para qualquer outro modelo com características globais semelhantes (se o modelo base é um ser humano, por exemplo, os outros modelos precisam ter dois olhos, um nariz e uma boca), utilizando um sistema simples e intuitivo de deformação. Com essa solução, é possível inserir novos personagens virtuais em aplicações, em tempo real sem ter que passar pelo tedioso processo de personalização de emoções dos personagens.

5.3.1 Clone de Expressões

O método de geração de expressões proposto utiliza o sistema de adaptação descrito na Seção 3.3. Com esse sistema é possível mover vértices da malha triangularizada, conforme ilustrado na Figura 5.18.

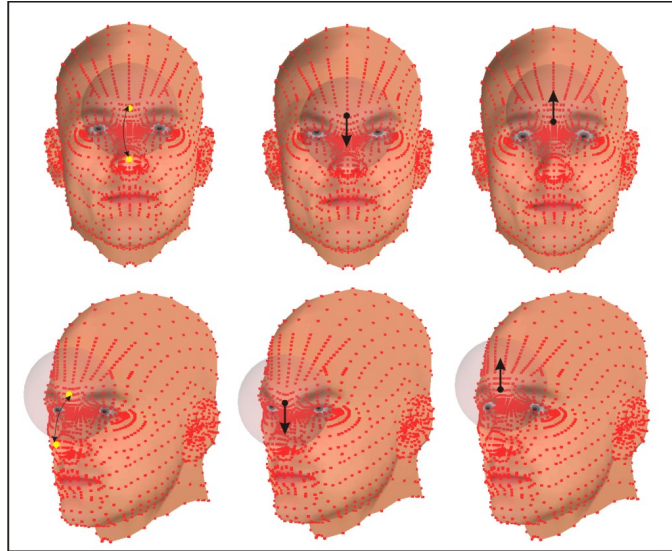


Figura 5.18: Geração de expressões utilizando o sistema de deformação por zonas de influência.

Nesta seção são descritos os passos da clonagem de expressões com base em proporções antropométricas e deformações pelo movimento de zonas de influência esféricas.

Passo 1: Definição do modelo de base.

O modelo virtual humano foi utilizado como modelo base, a fim de definir todos os pontos de referência utilizados no sistema (Figura 5.19) e todas as medidas em uma face neutra. Figura 5.20 ilustra algumas dessas medidas. Após esse processo, é necessário definir as expressões faciais que se desejam transferir e as regras de deformações a serem aplicadas. Essas regras incluem a direção, o movimento das zonas de influência e seus tamanhos.

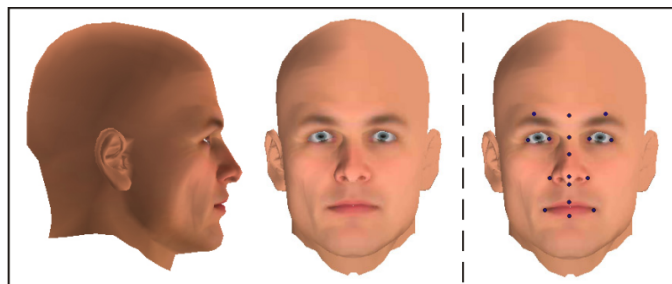


Figura 5.19: Modelo base e *landmarks* utilizados nos estudos de casos.

Note-se que os raios das zonas esféricas são definidos por regras baseadas em distância de pontos. Modelos que têm maiores regiões a serem movidas exigem esferas maiores. Assim, as regiões a serem movidas também são definidas por medidas dos *landmarks* (Figura

5.21). Após a definição dos *landmarks*, medidas na face neutra, e do raio das zonas de influência esféricas, é possível aplicar as deformações para gerar algumas expressões no modelo base (Figura 5.22). Neste ponto, as proporções das medições realizadas com e sem expressões faciais são armazenadas (Figura 5.22) para serem utilizadas mais tarde nos outros modelos.

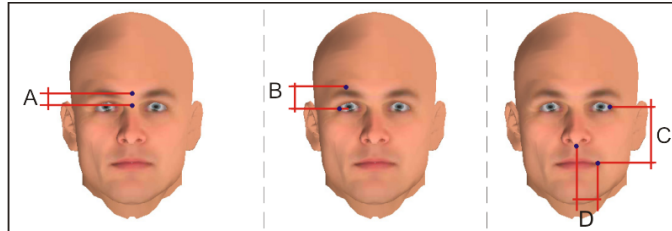


Figura 5.20: Algumas medidas na face neutra.

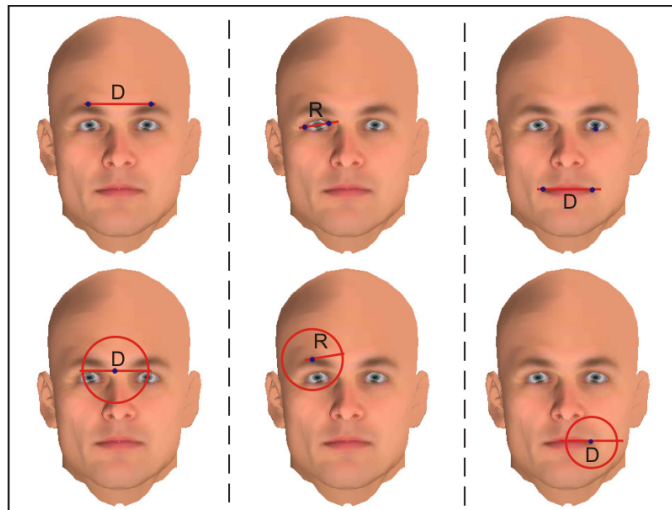


Figura 5.21: Definição do raio de algumas esferas de influência.

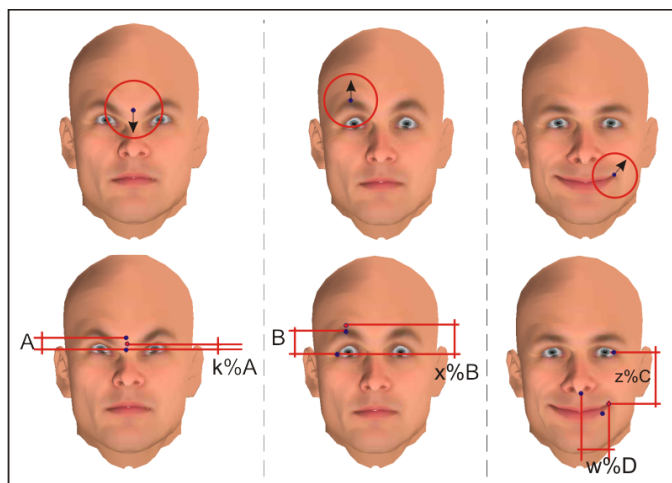


Figura 5.22: Exemplo de aplicação de deformações e armazenamento de proporções de medidas.

Passo 2: Definição dos modelos para os quais as expressões serão mapeadas.

Para ilustrar este passo, expressões foram aplicadas a modelos com diferentes características geométricas (humanos, modelo estilo desenho animado, ogro, gato e minotauro) e malhas topologicamente diferentes (Figura 5.23). Uma vez que os modelos são selecionados, identificam-se os *landmarks* correspondentes dos novos modelos (Figura 5.24). O processo de identificar os pontos de referência é feito por um sistema simples de *picking* 3D.

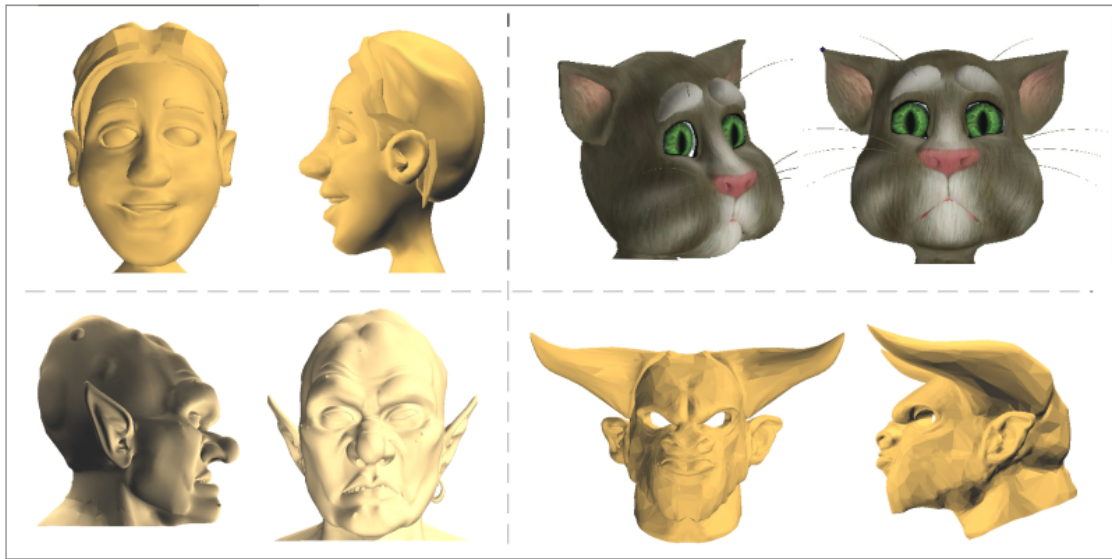


Figura 5.23: Modelos utilizados nos estudos de casos.

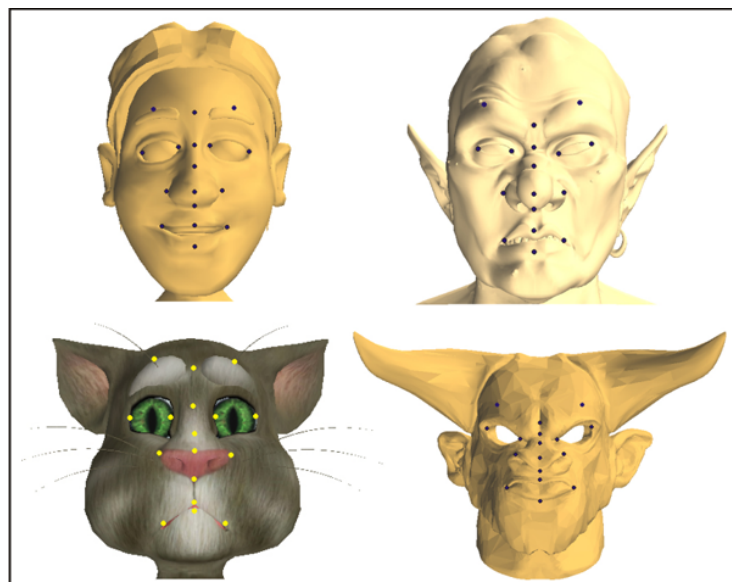


Figura 5.24: Identificação de *landmarks* antropométricos nos novos modelos.

Esta é a única etapa que requer trabalho manual. No entanto, técnicas de reconhecimento de faces podem ser utilizadas, a fim de tornar o sistema mais automatizado. Neste trabalho, esta etapa de automação não foi investigada, por estar fora do escopo da pesquisa, já

que o foco está na definição de mapeamentos automáticos de expressões entre diferentes personagens.

Passo 3: Armazenamento das medidas da face neutra dos novos modelos.

Após a identificação dos *landmarks*, o sistema armazena as medidas dos novos modelos, sem expressões. A Figura 5.25 ilustra algumas medidas em um dos modelos. Essas medidas são as mesmas utilizadas como exemplo, no modelo humano ilustrado na Figura 5.20.

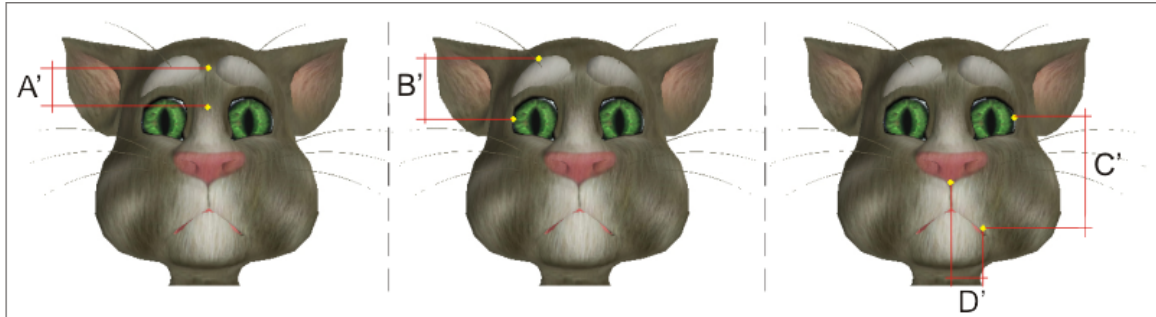


Figura 5.25: Medidas do novo modelo sem expressões.

Passo 4: Aplicação das expressões nos novos modelos.

Em seguida, são utilizadas as medidas das faces neutras, para gerar as expressões no novo modelo, aplicando as regras de definição de raio (Figura 5.26) e as proporções definidas utilizadas no modelo base (Figura 5.22). Expressões são formadas transladando zonas de influência esféricas centradas nos *landmarks* (os pontos de referência não precisam ser vértices da malha), causando deformações na malha (Figura 5.27).

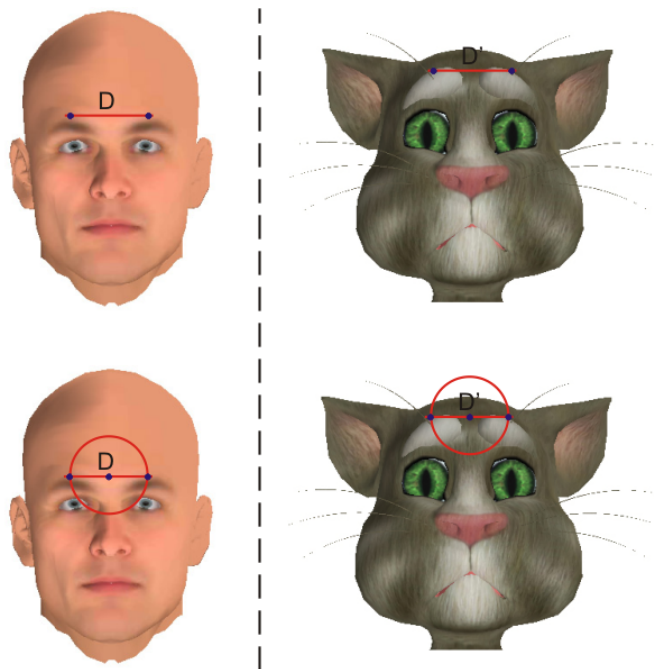


Figura 5.26: Aplicação das regras de definição de raios.

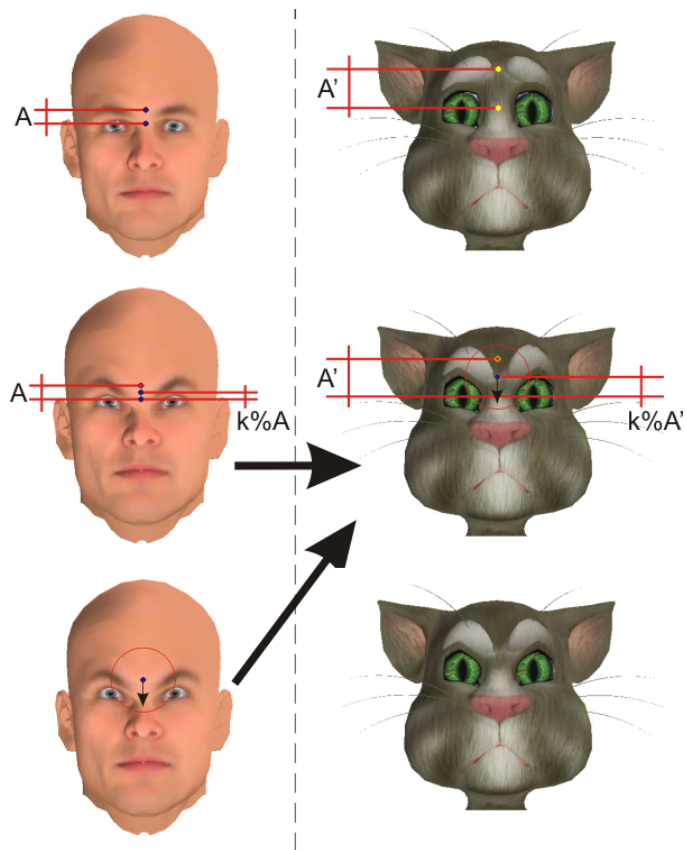


Figura 5.27: Exemplo de proporções do modelo base e expressões transferidas para o novo modelo.

Com o sistema proposto, é possível transferir as expressões faciais para várias criaturas que têm características globais semelhantes, tais como o gato na Figura 5.27. A Figura 5.28 ilustra outra expressão com deformações na boca e nas regiões dos olhos.

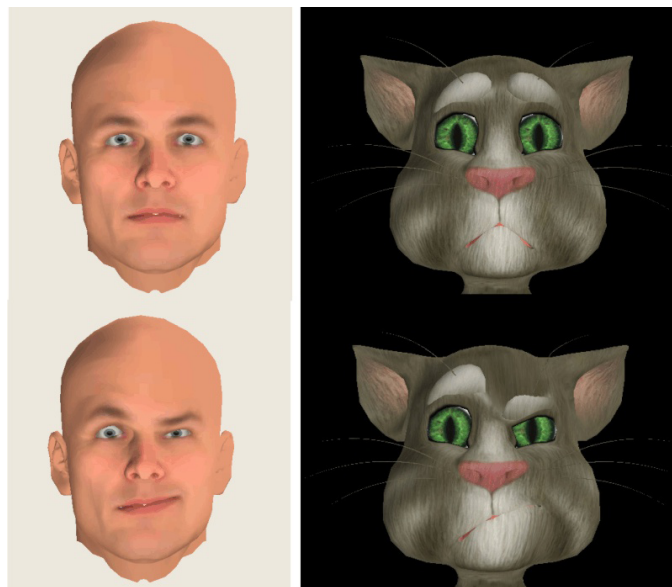


Figura 5.28: Aplicação de proporções no modelo Gato.

Uma vez que é utilizado um modelo humano como base, os vários modelos devem ter dois olhos, um nariz e uma boca, para que a transferência de expressões tenha coerência. Embora possuam essas características globais, as geometrias dos modelos dos estudos apresentados são muito diferentes, como pode ser observado. A Figura 5.29 ilustra o modelo base com algumas expressões e a técnica de clonagem de expressões proposta, aplicada a todos os modelos utilizados como exemplos nesta seção, gerando os resultados ilustrados nas figuras 5.30 a 5.33. Em seguida são feitas algumas observações quanto à generalidade deste processo e problemas causados por diferenças na forma dos elementos das faces onde as expressões serão aplicadas.

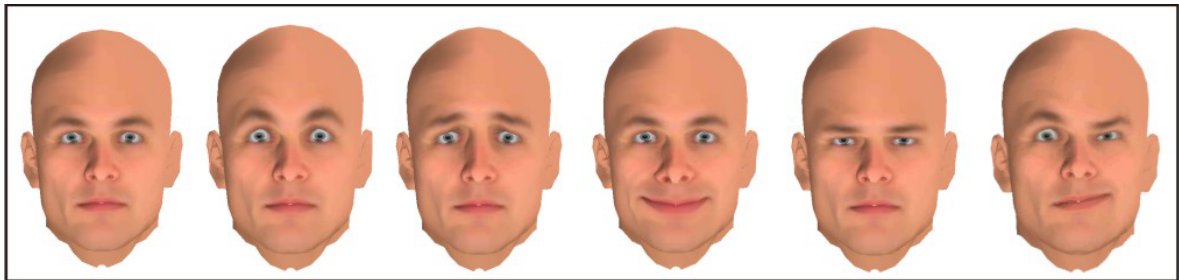


Figura 5.29: Expressões aplicadas no modelo base.

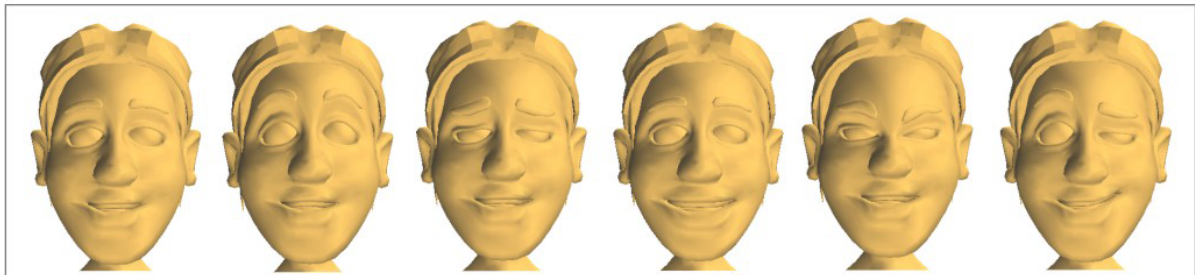


Figura 5.30: Expressões transferidas ao modelo *Cartoon*.

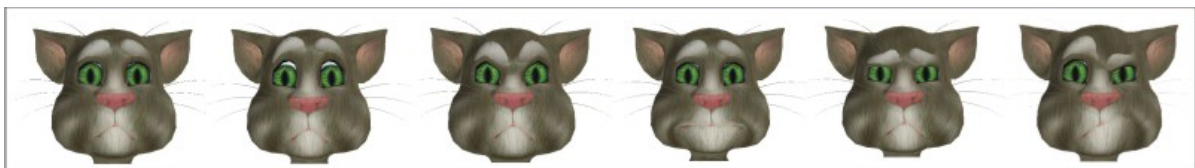


Figura 5.31: Expressões transferidas ao modelo Gato.



Figura 5.32: Expressões transferidas ao modelo Minotauro.

As diferentes formas da face influenciam no resultado final da aplicação de expressões. Delimitando *landmarks* selecionados, com um retângulo (Figura 5.34), é possível ver que



Figura 5.33: Expressões transferidas ao modelo Ogro.

as deformações são proporcionais a estas medidas. No caso do minotauro, que possui um retângulo de pequena altura, as deformações no eixo y serão menores, o que é notado nos resultados.

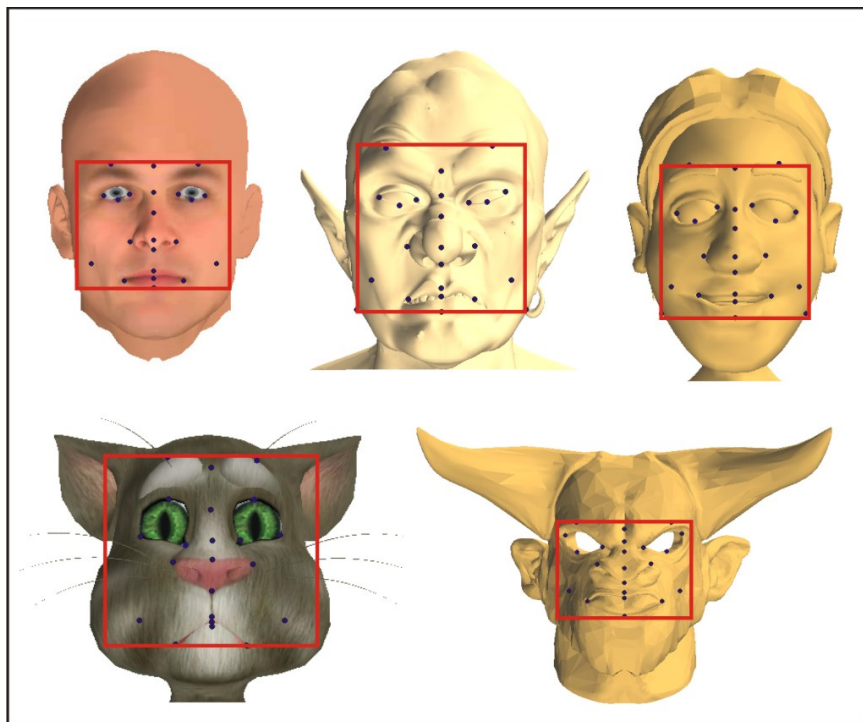


Figura 5.34: Delimitação de *landmarks* faciais.

Formatos distintos, das características faciais também resultam em anomalias. Nos estudos de casos apresentados, isso ocorre na boca do Gato, cujos pontos extremos estão bem abaixo, no eixo y , do ponto central da boca, diferentemente do modelo base, cujos pontos estão quase alinhados (Figura 5.35).

Essa diferença gera resultados distintos do esperado. Como pode ser observada na Figura 5.31, a expressão de sorriso do Gato não fica coerente. No caso da última expressão do modelo Gato, foi utilizada a posição inicial da boca com os *landmarks* alinhados, para gerar o resultado aproximado do modelo base. Sendo assim, o processo totalmente automático pode não resultar em expressões coerentes, caso os elementos básicos da face não sejam muito correspondentes aos do modelo base.

Verifica-se que a maior semelhança de resultados foi encontrada nos modelos *Cartoon* e *Ogro*, por estes apresentarem maior semelhança na disposição dos *landmarks* da face, em

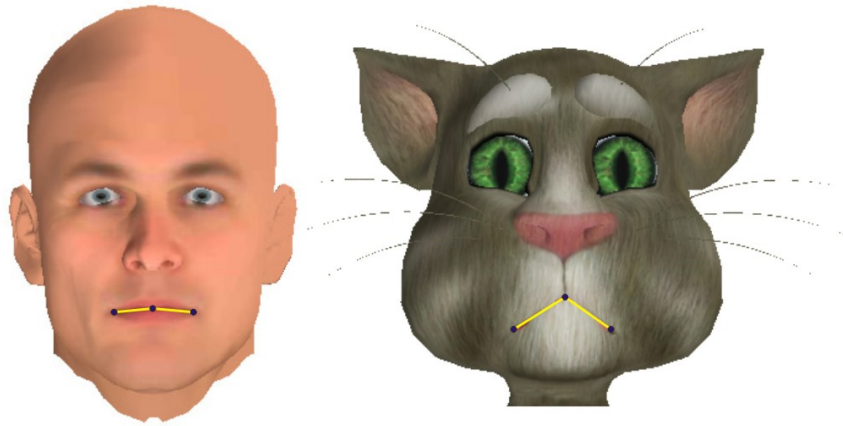


Figura 5.35: Diferenças na disposição da geometria da boca dos modelos base e Gato.

relação ao modelo base. Nota-se também a importância de seleção precisa dos *landmarks*, sob pena de ocorrer assimetrias, como no caso de uma das expressões da Figura 5.30 do modelo *Cartoon* e destacada na Figura 5.36.

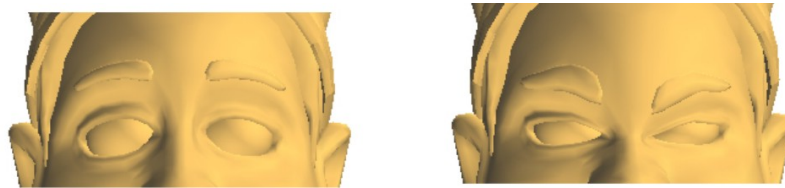


Figura 5.36: Assimetria gerada por seleção imprecisa de *landmarks*.

Os resultados mostraram-se satisfatórios, porém assim como no caso da manipulação corporal, os modelos dos personagens devem ter características físicas semelhantes, o que não ocorre nos estudos de casos do Capítulo 4. Os modelos Criatura I e II possuem características faciais bem distintas dos demais. A Criatura I possui olhos em formato de antenas e a Criatura II possui apenas um olho e nariz indefinido. Desta forma, assim como no caso da manipulação corporal, não sendo possível definir um modelo genérico que atenda a todos os casos, é proposto um método baseado em populações de seres reproduzidos. Com a definição de regras de geração de expressões para um determinado personagem, é possível transferí-la para os demais modelos gerados durante a simulação, pois estes possuem características faciais semelhantes aos seus progenitores iniciais. Todo o processo é semelhante ao descrito anteriormente, com o acréscimo de alguns detalhes. Com uma definição de regras de expressão específica para um determinado personagem, é possível ter resultados mais coerentes. Em caso de aplicações em que são utilizados personagens que representem famílias ou grupos da mesma espécie, é válido utilizar este procedimento.

5.3.2 Aplicação de expressões em personagens reproduzidos

Nesta seção, é definido um método para aplicação de expressões faciais em personagens virtuais reproduzidos. No início da simulação de reprodução, o modelo médio dos progenitores iniciais é calculado (Figura 5.37(a)). Com o modelo médio, são definidas as regras de proporção da face para aplicar as expressões (Figura 5.37(b)). Com o modelo médio e as regras da proporção, é feita a simulação de transferência automática de características genéticas de todo o corpo dos personagens virtuais, através da simulação de reprodução diploide (Figura 5.37(c)). Durante a execução da aplicação, com os novos personagens produzidos, é possível aplicar as regras de proporções e gerar expressões faciais de forma automática (Figura 5.37(d)). Com esta solução, novos personagens podem ser gerados no sistema de reprodução e apresentar expressões personalizadas à medida que os modelos interagem no ambiente.

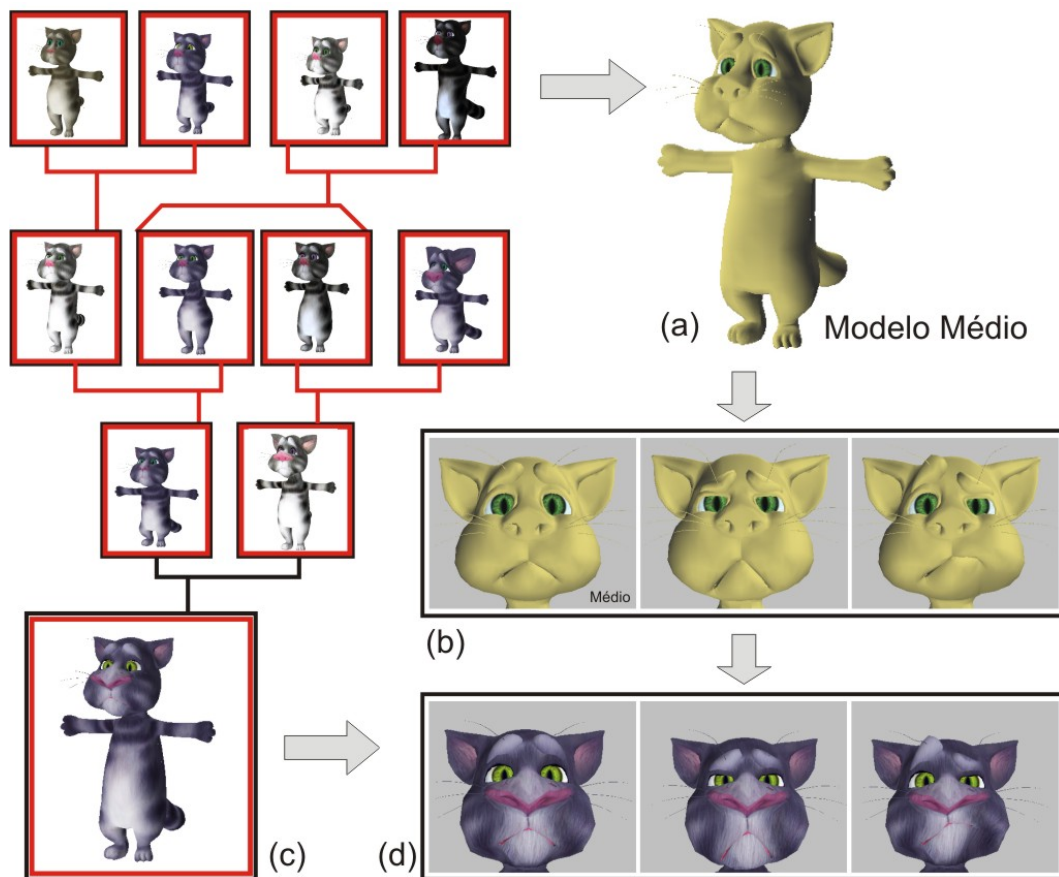


Figura 5.37: Aplicação de expressões faciais em personagens reproduzidos. (a) Cálculo do modelo médio a partir dos progenitores iniciais. (b) Definição das regras de proporção que definem expressões, utilizando o modelo médio. (c) Simulação do processo reprodutivo. (d) Aplicação de expressões nos novos modelos.

Nesta seção, são definidos os passos para a aplicação de expressões faciais, ilustrados na Figura 5.38, com a utilização de medidas e proporções realizados em um modelo médio, para posterior transferência a novos modelos reproduzidos. A aplicação das adaptações das malhas faciais é feito por translação de zonas de influência esféricas.

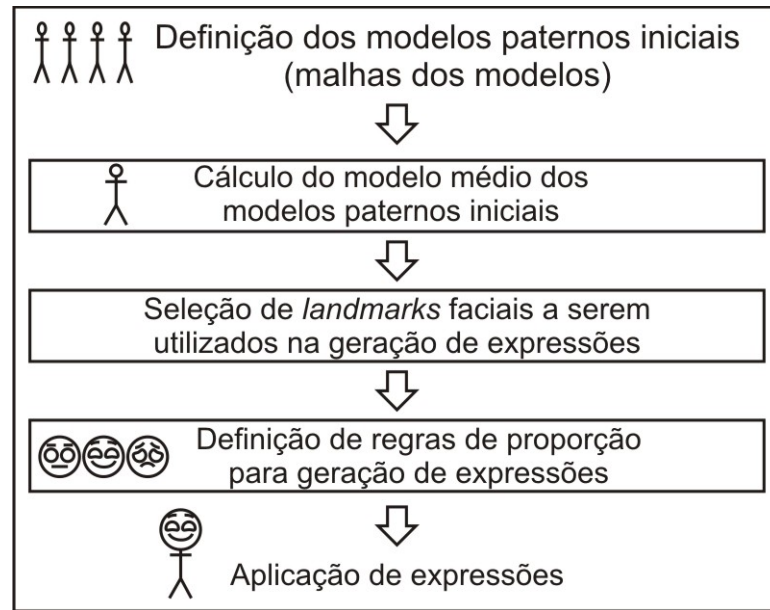


Figura 5.38: Passos para a aplicação de expressões.

Passo 1: Definição do modelo base.

Assim como no modelo de manipulação corporal, inicialmente, é definido um modelo base para ser utilizado como um modelo de regras de adaptação. Para assegurar que este modelo base é geometricamente próximo a qualquer modelo gerado no sistema, o definimos como o modelo médio dos progenitores iniciais do sistema de reprodução. Caso os modelos masculinos e femininos tenham características físicas muito distintas, pode-se utilizar modelos médios por gênero, conforme ilustrado na Figura 4.17. Nos estudos de caso utilizados nesse trabalho, não existem grandes variações que justifiquem tal distinção, desta forma, foi utilizado o modelo médio de todos os modelos, independente de gênero. Nos estudos de caso do gato e criatura, os modelos médios estão ilustrados na Figura 5.11.

Passo 2: Seleção de *landmarks* faciais.

Com o modelo médio, os pontos de referência faciais (vértices na malha) que serão utilizados são identificados para fazer as medições e gerar expressões na face neutra. Esta seleção é feita por um sistema simples de *picking*. Após este processo, é necessário definir as expressões faciais desejadas a serem transferidas e as regras de deformações a serem aplicadas. Estas regras incluem a direção, a proporção de movimento e raio da esfera de influência.

Passo 3: Definição das regras de proporções para a geração de expressões.

É importante mencionar que os raios das zonas esféricas são definidos pelas regras baseadas na distância de pontos. Modelos que têm regiões de maior dimensão para serem movidas requerem esferas maiores. Assim, as regiões a serem movidas também são definidos por medidas baseadas em *landmarks*. Nas Figuras 5.39 e 5.40, medidas K_i são usadas para definir o raio das esferas em cada deformação.

Após a definição dos pontos de referência, medidas na face neutra e o raio esférico, é

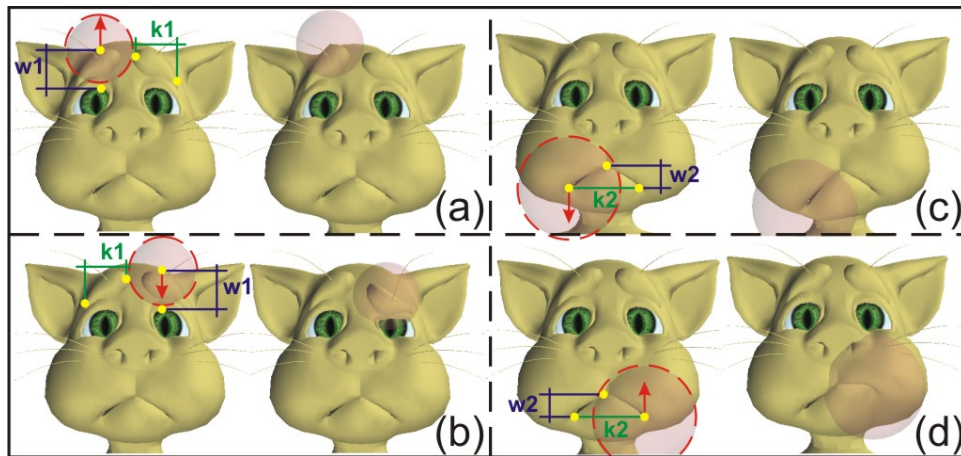


Figura 5.39: Regras utilizadas no estudo de caso do modelo gato.

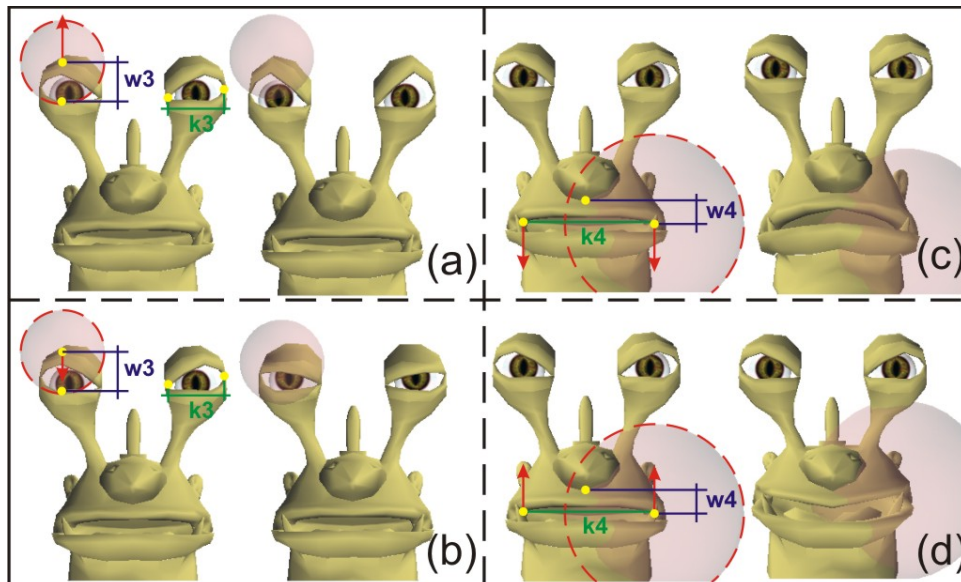


Figura 5.40: Regras utilizadas no estudo de caso Criatura I.

possível aplicar as deformações gerando algumas expressões no modelo base, movendo-se as zonas de influência para a posição de cada expressão. Medidas definidas como w_i , nas Figuras 5.39 e 5.40, são usadas para gerar as proporções entre a face neutra e expressão usada na adaptação. Neste ponto, as proporções de medições realizadas a partir das faces, com e sem expressões faciais são armazenados para serem usadas mais tarde nos outros modelos.

Passo 4: Aplicação das expressões.

Uma vez que os modelos de cada estudo de caso tem a mesma topologia, os *landmarks* dos modelos gerados por simulação de reprodução, são identificados automaticamente. Em seguida, as medidas das faces neutras são usadas para gerar as expressões nos novos modelos, aplicando as regras de dimensionamento de raio e as proporções definidas utilizadas nos modelos base (figuras 5.39 e 5.40). Expressões são formadas com a translação das zonas de influência esféricas centradas em pontos de referência, fazendo com que ocorram

deformações da malha. A Figura 5.41 mostra o resultado final da aplicação de expressões para os modelos da última geração das árvores genealógicas dos estudos gato (Figura 4.23). Nota-se que as expressões geradas combinaram as regras de deformação aplicadas nos olhos e boca. O primeiro modelo ilustra a face neutra e a aplicação das expressões no modelo médio. Em seguida, são mostradas as faces neutras e aplicação de expressões nos demais modelos (l) a (p).

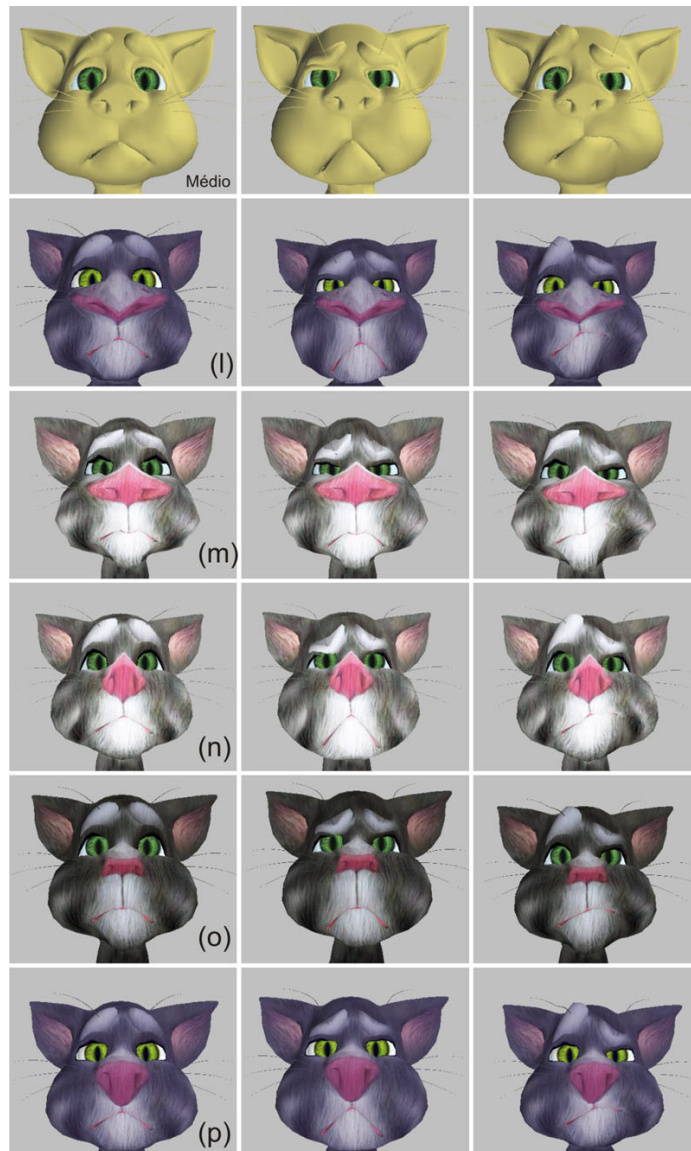


Figura 5.41: Aplicação de expressões no estudo de caso do modelo gato (Modelos (l) a (p) da Figura 4.23).

A Tabela 5.3 apresenta informações de raio, proporções e movimento final da esfera, em alguns personagens dos estudos de caso do modelo gato. A Figura 5.42 mostra os gráficos de deslocamento da zona de influência esférica em cada aplicação de expressões aplicado aos modelos (l) a (p) da árvore genealógica dos gatos, em relação ao modelo médio deste personagem. A partir do gráfico da Figura 5.42, é possível ver que no modelo (m) ocorreram pequenos movimentos nas regras (c) e (d), em comparação com os outros

modelos. Na Figura 5.41 é possível observar que a medida w_2 do modelo (m) é a menor, comparado aos outros modelos. A Tabela 5.3 também indica que a medida w_2 do modelo (m) é 0,486 menor, em relação à medida w_2 do modelo médio.

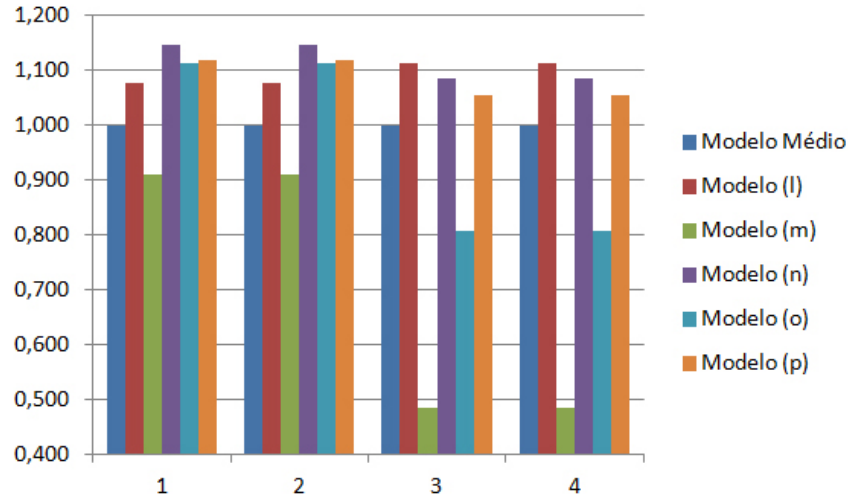


Figura 5.42: Gráfico mostrando o deslocamento da esfera de influência em cada modelo, comparado ao modelo médio. (a), (b), (c) e (d) são as regras indicadas na Figura 5.39.

Modelo	Regra	Raio	Proporção	Movimento
Modelo médio	(a)	$0.75*k_1$	1.2	$1.2*w_1$
Modelo médio	(b)	$0.75*k_1$	0.6	$0.6*w_1$
Modelo médio	(c)	$0.75*k_2$	1.9	$1.9*w_2$
Modelo médio	(d)	$0.75*k_2$	-0.15	$-0.15*w_2$
Gato (l)	(a)	$0.75*k_1*1.02$	1.2	$1.2*w_1*1.078$
Gato (l)	(b)	$0.75*k_1*1.02$	0.6	$0.6*w_1*1.078$
Gato (l)	(c)	$0.75*k_2*1.08$	1.9	$1.9*w_2*1.113$
Gato (l)	(d)	$0.75*k_2*1.08$	-0.15	$-0.15*w_2*1.113$
Gato (m)	(a)	$0.75*k_1*1.02$	1.2	$1.2*w_1*0.910$
Gato (m)	(b)	$0.75*k_1*1.02$	0.6	$0.6*w_1*0.910$
Gato (m)	(c)	$0.75*k_2*1.10$	1.9	$1.9*w_2*0.486$
Gato (m)	(d)	$0.75*k_2*1.10$	-0.15	$-0.15*w_2*0.486$
Gato (n)	(a)	$0.75*k_1*1.02$	1.2	$1.2*w_1*1.148$
Gato (n)	(b)	$0.75*k_1*1.02$	0.6	$0.6*w_1*1.148$
Gato (n)	(c)	$0.75*k_2*1.08$	1.9	$1.9*w_2*1.087$
Gato (n)	(d)	$0.75*k_2*1.08$	-0.15	$-0.15*w_2*1.087$
Gato (o)	(a)	$0.75*k_1*1.02$	1.2	$1.2*w_1*1.112$
Gato (o)	(b)	$0.75*k_1*1.02$	0.6	$0.6*w_1*1.112$
Gato (o)	(c)	$0.75*k_2*1.06$	1.9	$1.9*w_2*0.808$
Gato (o)	(d)	$0.75*k_2*1.06$	-0.15	$-0.15*w_2*0.808$
Gato (p)	(a)	$0.75*k_1*1.02$	1.2	$1.2*w_1*1.119$
Gato (p)	(b)	$0.75*k_1*1.02$	0.6	$0.6*w_1*1.119$
Gato (p)	(c)	$0.75*k_2*1.07$	1.9	$1.9*w_2*1.056$
Gato (p)	(d)	$0.75*k_2*1.07$	-0.15	$-0.15*w_2*1.056$

Tabela 5.3: Regras aplicadas a alguns estudos de casos de modelos gato.

A Figura 5.43 mostra o resultado final da aplicação de expressões para os modelos da última geração das árvores genealógicas do estudo de caso Criatura I (Figura 4.27). Nota-se que as expressões geradas combinaram as regras de deformação aplicadas nos olhos e boca. O primeiro modelo ilustra a face neutra e a aplicação das expressões no modelo médio. Em seguida, são mostradas as faces neutras e aplicação de expressões nos demais modelos (o) a (t), em vista frontal e perspectiva. A coluna do meio mostra a combinação das regras (a) e (d) e a terceira coluna mostra a combinação das regras (b) e (c) da Figura 5.40.

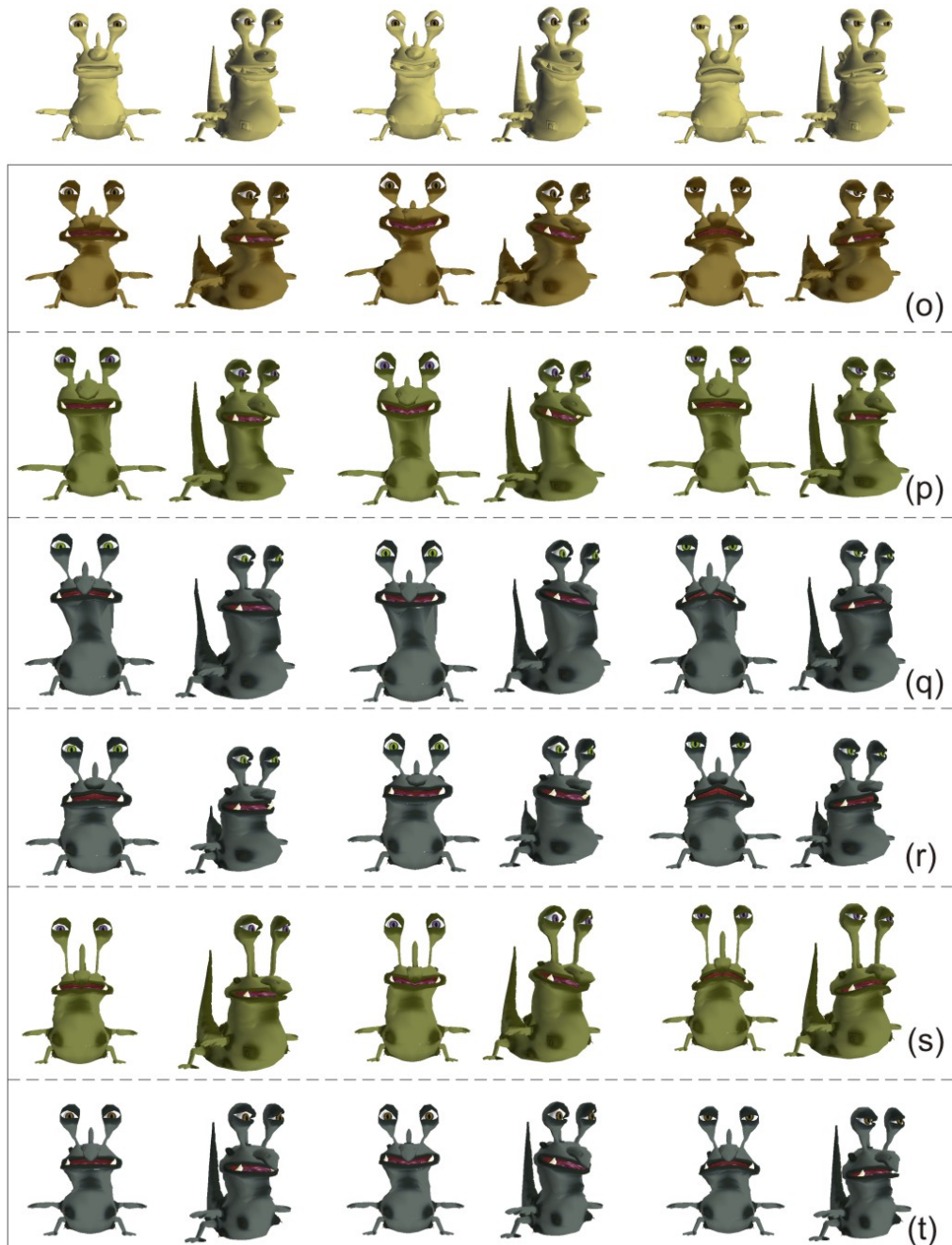


Figura 5.43: Aplicação de expressões no estudo de caso do modelo Criatura I (Modelos (o) a (t) da Figura 4.27).

A Tabelas 5.4 apresenta informações de raio, proporções e movimento final da esfera, em alguns personagens dos estudos de caso do modelo Criatura I. A Figura 5.44 mostra os gráficos de deslocamento da zona de influência esférica em cada aplicação de expressões aplicado aos modelos (o) a (t) a partir da árvore genealógica da Criatura I, em relação ao modelo médio deste personagem. O gráfico da Figura 5.44 também mostra grandes variações no deslocamento da boca dos personagens Criatura I. A Tabela 5.4 mostra que o raio definido para mover a boca do modelo (p) é muito maior ($0,75k_4 * 1,227$) do que o raio definido pelo modelo médio ($0,75k_4$). O gene que define a medição da boca é ilustrado no Apêndice A.4, como Medida 5. Se observarmos o mapeamento completo do modelo (p), na Tabela 4.5, o gene dominante desta medição foi herdado do modelo (c). Na árvore genealógica da Figura 4.27, é fácil ver que o modelo (c) tem uma das maiores bocas dos progenitores iniciais. Embora o modelo (p) tenha uma boca maior do que a média, o seu movimento é muito menor, como podemos ver no gráfico da Figura 5.44. A Tabela 5.4 mostra que a medida w_4 deste modelo é 0,855 mais curta do que a medida do modelo médio o que garante a coerência da aplicação da expressão.

Modelo	Regra	Raio	Proporção	Movimento
Modelo médio	(a)	$0.75*k_3$	1.4	$0.2*w_3$
Modelo médio	(b)	$0.75*k_3$	0.4	$0.4*w_3$
Modelo médio	(c)	$0.75*k_4$	0.6	$0.6*w_4$
Modelo médio	(d)	$0.75*k_4$	-0.8	$-0.8*w_4$
Criatura I (o)	(a)	$0.75*k_3*0.992$	1.4	$0.2*w_3*0.951$
Criatura I (o)	(b)	$0.75*k_3*0.992$	0.4	$0.4*w_3*0.951$
Criatura I (o)	(c)	$0.75*k_4*1.383$	0.6	$0.6*w_4*1.157$
Criatura I (o)	(d)	$0.75*k_4*1.383$	-0.8	$-0.8*w_4*1.157$
Criatura I (p)	(a)	$0.75*k_3*0.996$	1.4	$0.2*w_3*0.993$
Criatura I (p)	(b)	$0.75*k_3*0.996$	0.4	$0.4*w_3*0.993$
Criatura I (p)	(c)	$0.75*k_4*1.227$	0.6	$0.6*w_4*0.855$
Criatura I (p)	(d)	$0.75*k_4*1.227$	-0.8	$-0.8*w_4*0.855$
Criatura I (q)	(a)	$0.75*k_3*0.991$	1.4	$0.2*w_3*0.943$
Criatura I (q)	(b)	$0.75*k_3*0.991$	0.4	$0.4*w_3*0.943$
Criatura I (q)	(c)	$0.75*k_4*1.398$	0.6	$0.6*w_4*1.217$
Criatura I (q)	(d)	$0.75*k_4*1.398$	-0.8	$-0.8*w_4*1.217$

Tabela 5.4: Regras aplicadas a alguns estudos de casos de modelos Criatura I.

Com o sistema proposto, é possível transferir as expressões faciais a personagens virtuais diversos usando o mesmo sistema de adaptação simples e rápido utilizado na simulação de reprodução. A aplicação das expressões é personalizada, de acordo com as medidas da face a serem deslocadas e proporções específicas de cada modelo. Técnicas de *morphing* pura aplicam deslocamentos constantes aos demais modelos, não levando em consideração as características específicas dos modelos que recebem a expressão.

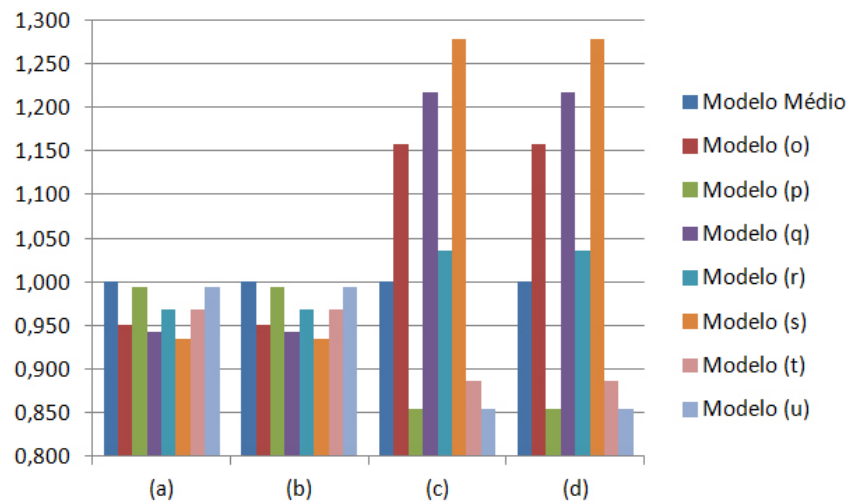


Figura 5.44: Gráfico mostrando o deslocamento da esfera de influência em cada modelo, comparado ao modelo médio. (a), (b), (c) e (d) são as regras indicadas na Figura 5.40.

5.4 Caricaturização de Personagens Virtuais

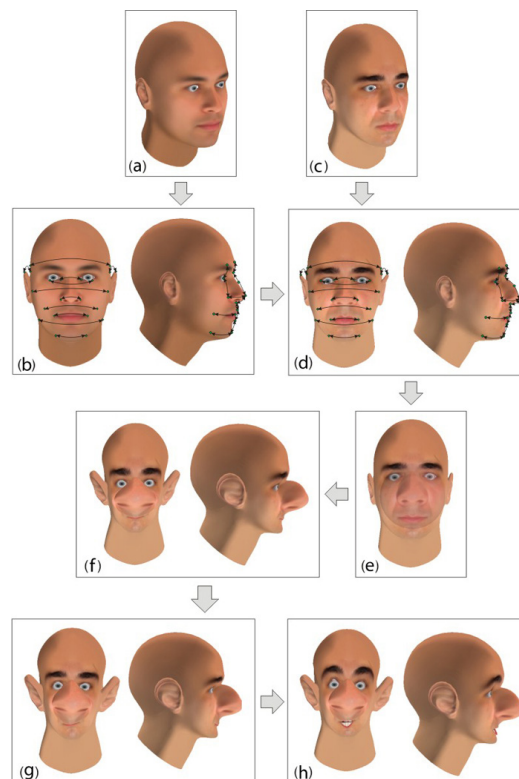


Figura 5.45: Passos para a geração de caricaturas. (a) Modelo de referência. (b) Identificação de medidas. (c) Modelo estudado. (d) Medidas comparadas às medidas do modelo de referência. (e) Aplicação de deformações. (f) Caricatura. (g) Aplicação de assimetria. (h) Aplicação de expressões.

A caricatura é um modelo ou um desenho feito por um artista que exagera características físicas do sujeito. Caricaturas bidimensionais podem ser utilizadas para entreter, ilustrar revistas, representar fatos com humor, etc. Caricaturas tridimensionais são muitas vezes utilizadas para gerar modelos engraçados para aplicações de realidade virtual, jogos, desenhos animados, etc.

Nesta seção, é apresentada uma estratégia para geração automática de caricaturas tridimensionais, utilizando conceitos de antropometria e deformações baseadas em zonas de influência móveis (Figura 5.45). A estratégia pode ser aplicada a modelos 3D com malhas topologicamente distintas. Na estratégia proposta, as medidas tomadas a partir de um modelo de referência servem como meio de comparação com as medidas correspondentes no modelo a ser caricaturado. Assim, quando uma medida em um modelo difere bastante (muito maior ou muito menor) da medida correspondente, no modelo de referência, essa diferença é exagerada de acordo com algum padrão de deformação pré-definido.

5.4.1 Modelo para caricaturização de personagens

As deformações nas figuras 5.46 e 5.47 foram causadas pela aplicação aleatória de translação ou escala de zonas de influência em medidas faciais. Como não obedecem a qualquer regra comparativa, eles não representam modelos aceitáveis de caricatura de uma pessoa. Nesta seção, é descrito, sistematicamente, o processo de geração de caricaturas.

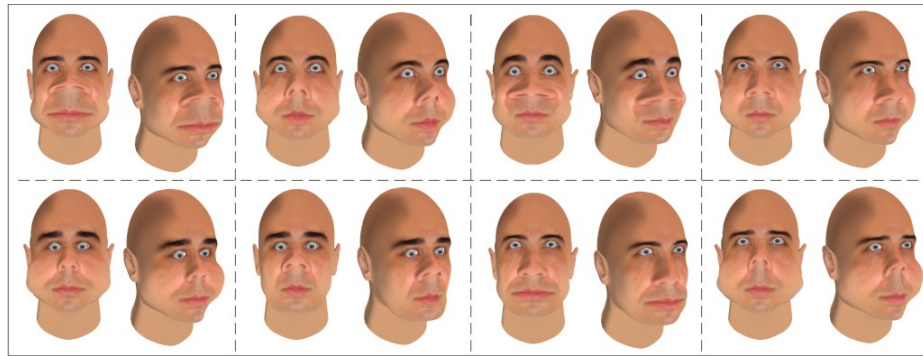


Figura 5.46: Exemplos de deformação aleatória por translação.

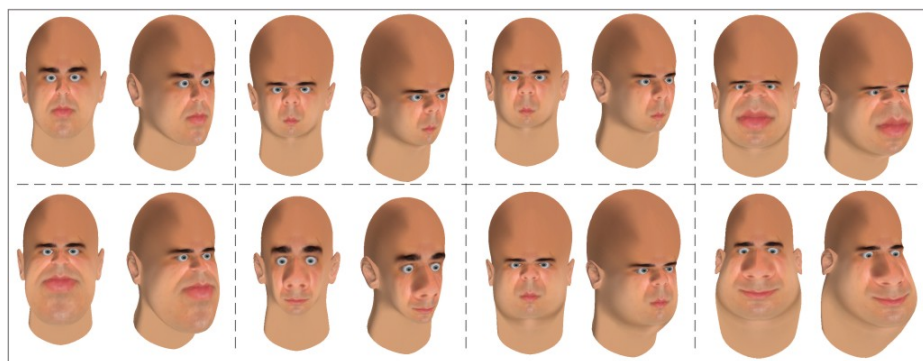


Figura 5.47: Exemplos de deformação aleatória por escala.

Passo 1: Identificação do modelo de referência.

Nesta etapa, é definido um modelo de referência, em relação ao qual o modelo a ser caricaturado será distorcido. Neste estudo, são adotados o modelo masculino da Figura 5.48 e o modelo feminino da Figura 5.49.

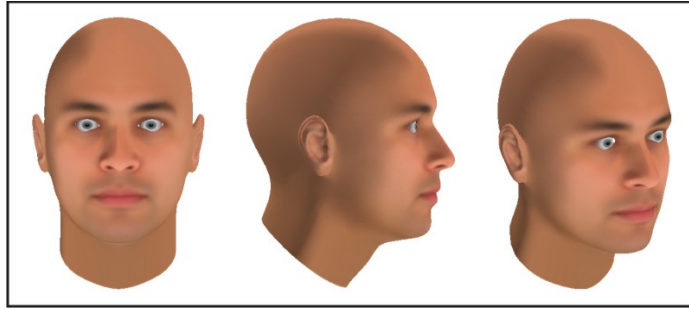


Figura 5.48: Modelo de referência masculino.

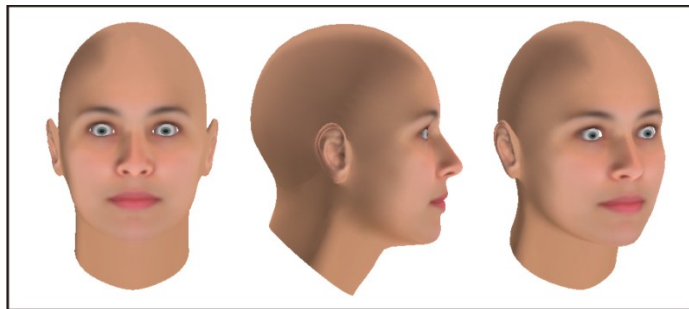


Figura 5.49: Modelo de referência feminino.

Passo 2: Identificação dos *landmarks* faciais e armazenamento das medidas do modelo de referência.

Nesta etapa, os *landmarks* faciais do modelo de referência são identificados e as medidas associadas são armazenadas. Na geração de caricaturas do sexo masculino, as medições são comparadas com o modelo de referência do sexo masculino. Em caso de caricaturas do sexo feminino, o modelo de referência do sexo feminino é utilizado. A Figura 5.51 mostra as medidas utilizadas nos estudos de casos.

Passo 3: Identificação dos *landmarks* faciais e armazenamento das medidas do modelo a ser caricaturado.

O modelo a ser caricaturado é mostrado na Figura 5.50. Assim como foi feito para o modelo de referência, são identificados os *landmarks* faciais e as medidas associadas são armazenadas (Figura 5.51). A identificação dos *landmarks* é feita por um sistema simples de *picking*. No caso de modelos com associações ponto-a-ponto, é possível definir pontos de referência como vértices da malha, se a malha for suficientemente refinada para que existam vértices nos locais desejados. Assim, nesse caso, o processo de definição de *landmarks* é automático.

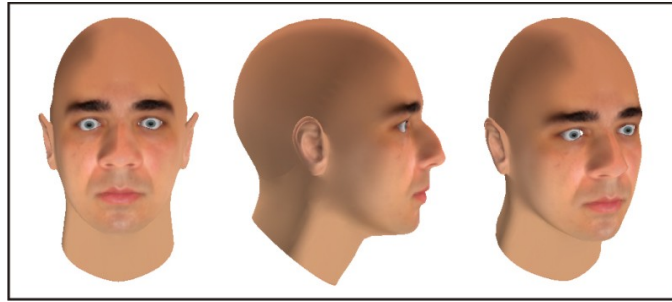


Figura 5.50: Modelo a ser caricaturado.

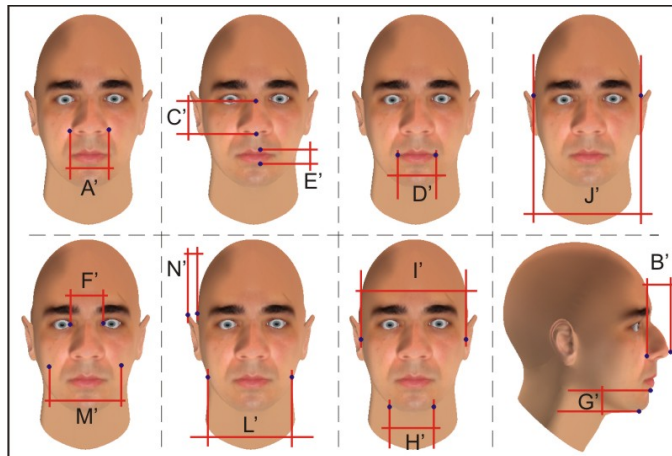


Figura 5.51: Identificação de *landmarks* faciais e medidas.

Passo 4: Comparação do modelo de referência com o modelo a ser caricaturado.

Nesta etapa, as medidas dos modelos a serem caricaturados são comparadas com as medidas correspondentes do modelo de referência armazenadas no Passo 2, conforme ilustrado na Figura 5.52. A Tabela 5.5 mostra as razões entre as medidas do modelo selecionado e as do modelo de referência (medidas são mostradas na Figura 5.51).

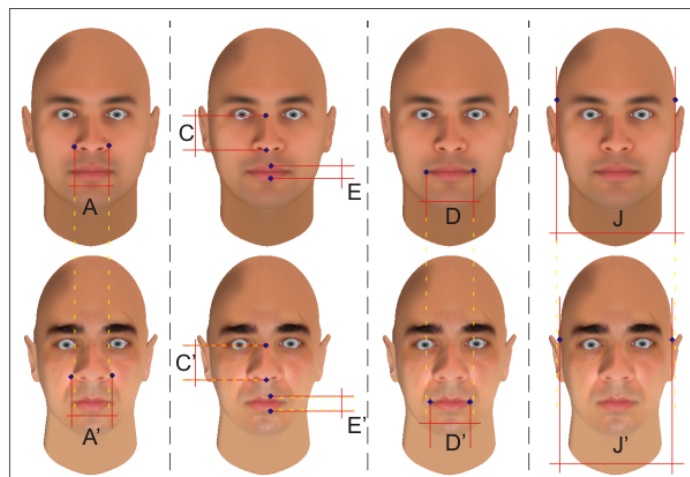


Figura 5.52: Comparação de medidas do modelo selecionado com o modelo de referência.

Proporções	Modelo Selecionado
A'/A	1,056
B'/B	1,064
C'/C	0,999
D'/D	0,873
E'/E	1,002
F'/F	1,027
G'/G	0,957
H'/H	0,927
I'/I	0,921
J'/J	0,970
L'/L	0,871
M'/M	0,944
N'/N	1,047

Tabela 5.5: Proporções das medidas do modelo selecionado, em relação às medidas do modelo de referência.

Passo 5: Aplicação das deformações no modelo a ser caricaturado.

Nesta etapa, deformações por translação ou escala de zonas de influência são aplicadas. Os raios das esferas podem ser definidos pelo usuário, ou com base nas distâncias entre pontos de referência. Medidas que afetam regiões maiores requerem esferas maiores. Os usuários são livres para criar ilustrações, escolhendo exagerar certas medidas em relação às outras, definindo assim os seus próprios estilos artísticos. Para isso, é possível aplicar deformações por translação de zonas de influência, por escala de zonas de influência, ou pela combinação desses dois tipos de técnica. Assim, quando as medidas são maiores do que as medidas correspondentes do modelo de referência, o sistema aumenta a medida pela escala ou pela translação de zonas de influência, a fim de causar expansão. Quando as medidas são menores do que as do modelo de referência, o sistema diminui a medida, manipulando as zonas de influência, a fim de causar redução.

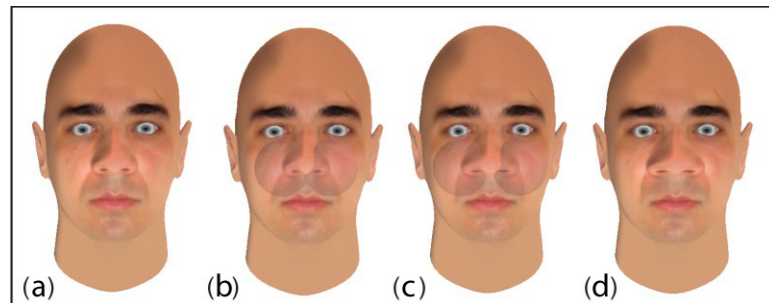


Figura 5.53: Deformação por translação de zonas de influência.

A Figura 5.53 ilustra o alargamento do nariz pela translação. A Figura 5.53(a) ilustra o modelo inicial, as figuras 5.53(b) e 5.53(c) ilustram as posições iniciais e finais das zonas de influência, e a Figura 5.53(d), o resultado da deformação.

A Figura 5.54 ilustra uma ampliação geral do nariz através da aplicação de deformação

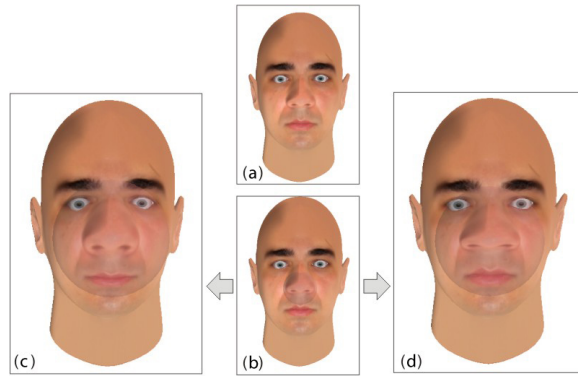


Figura 5.54: Deformação por escala de zonas de influência.

por escala. A Figura 5.54(a) ilustra o modelo inicial, a Figura 5.54(b) mostra o tamanho inicial da zona de influência e as figuras 5.54(c) e 5.54(d) representam dois eventuais alargamentos do nariz através da aplicação de escala à zona de influência. A Figura 5.54(c) mostra o deslocamento dos vértices em todos os três eixos, X, Y e Z, enquanto a Figura 5.54(d) ilustra a escala apenas no eixo X.

O usuário pode optar por aplicar translações de zonas de influência para algumas medidas e aplicar escala de zonas de influência para outras medidas ou selecionar aleatoriamente um dos dois métodos. Ele também pode definir diferentes raios para as esferas. A Figura 5.55 mostra uma possível sequência de deformação usando as proporções da Tabela 5.5. A Figura 5.55(a) utiliza a deformação por translação aplicada à medida A, enquanto a Figura 5.55(b) utilizada a deformação de escala aplicada à medida B, e assim por diante.

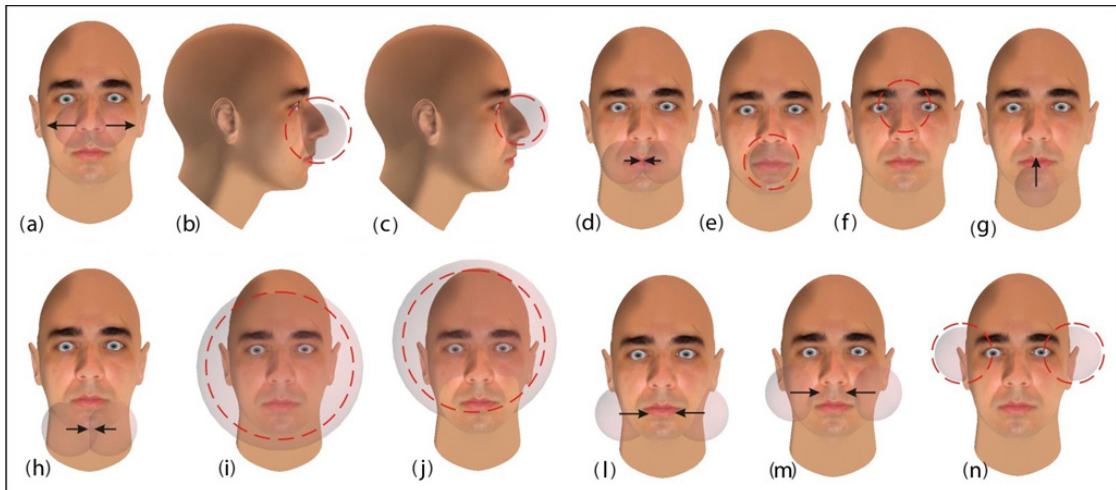


Figura 5.55: Possíveis combinações de deformação.

Depois de aplicar uma sequência de deformações ao modelo, a caricatura resultante ainda pode ser modificada através da aplicação de outra sequência de deformações. O usuário pode estar no controle de todo o processo, escolhendo novamente os raios para a zona de influência e decidindo que tipo de deformação aplicar (Figura 5.56 ilustra resultados possíveis). Observe que, embora o processo possa ser totalmente automatizado, o usuário sempre tem o poder de escolha e controle.

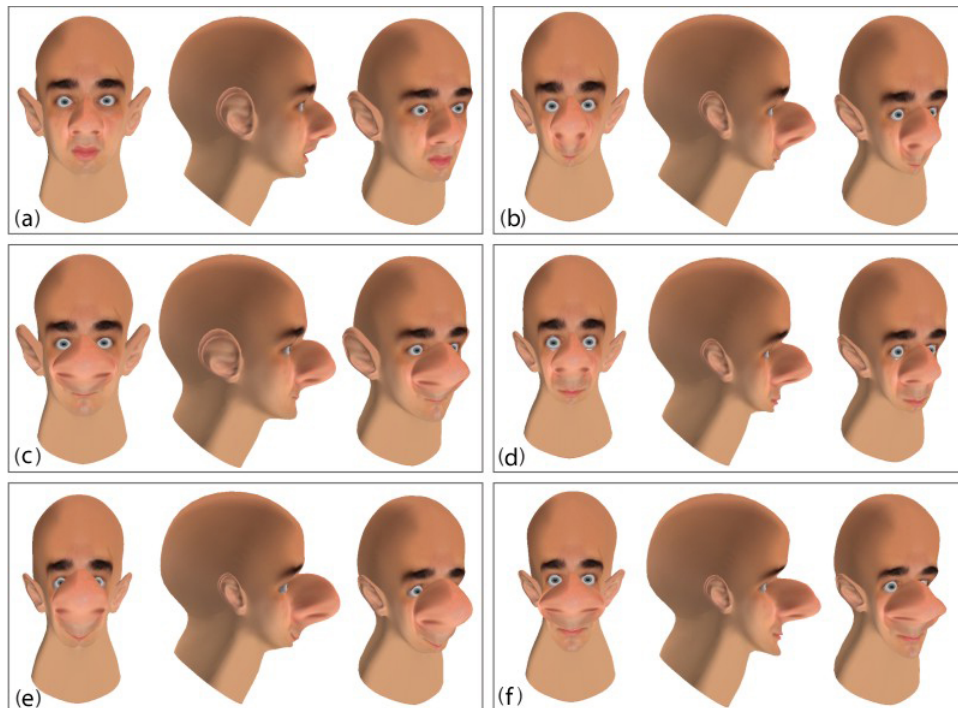


Figura 5.56: Alguns resultados possíveis.

O gráfico na Figura 5.57 mostra as proporções de medidas do modelo inicial (em azul) e do modelo caricaturado (em vermelho) relativas às medidas do modelo de referência. As medidas com proporções maiores do que 1 são aumentadas, e as medidas com proporções menores do que 1 são reduzidas. É necessário destacar que o resultado final depende da sequência de deformações aplicadas.

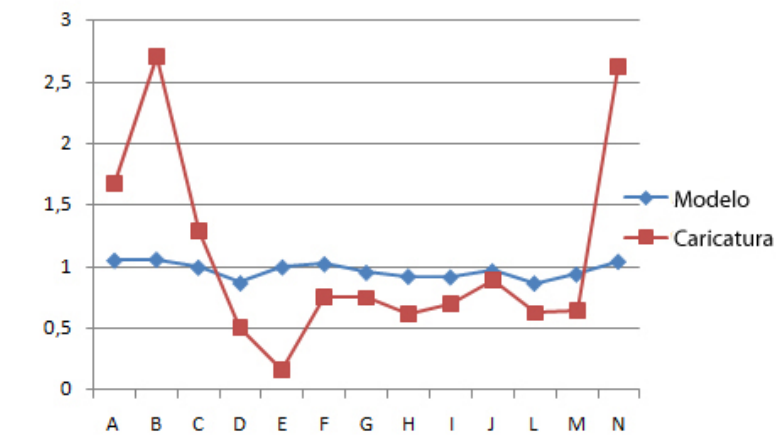


Figura 5.57: Comparação das proporções de medidas antes e depois do processo de caricaturização.

Passo 6: Aplicação da assimetria.

Artistas costumam recorrer à assimetria, a fim de dar uma aparência natural para as caricaturas. Para exemplificar e adicionar esse recurso, a assimetria é aplicada à caricatura da Figura 5.56(c). Inicialmente, oito pontos são definidos como centros de zonas

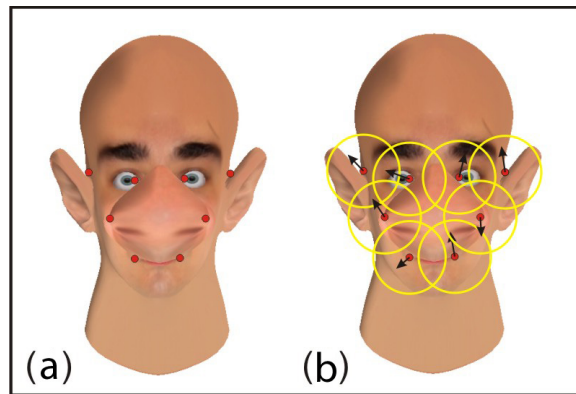


Figura 5.58: Aplicação de assimetria. (a) Pontos de aplicação de assimetria e (b) aplicação da perturbação.

de influência esféricas (Figura 5.58(a)). Em seguida, as esferas sofrem deformações de translação aleatórias (Figura 5.58(b)).

As figuras 5.59(a) e 5.59(b) mostram alguns resultados, após aplicação de translação nos oito pontos. Mais uma vez, embora as assimetrias possam ser geradas automaticamente, é sempre possível que o usuário esteja no controle do processo. Observe que, no desenho tradicional de caricaturas, os artistas utilizam diferentes estilos de deformações, a fim de alcançarem resultados diferentes, mas sempre respeitando as características globais da pessoa que está sendo caricaturada. Esse método é flexível o suficiente para dar ao artista a escolha, seja para exercer controle total sobre cada passo do processo de caricatura, seja para permitir que o sistema execute automaticamente. Com essa metodologia, é possível gerar diferentes opções de caricaturas e depois fazer os ajustes controlados para uma caricatura selecionada. A seguir, a guisa de exemplo, a caricatura mostrada na Figura 5.59(a) foi escolhida para ir ao passo seguinte.

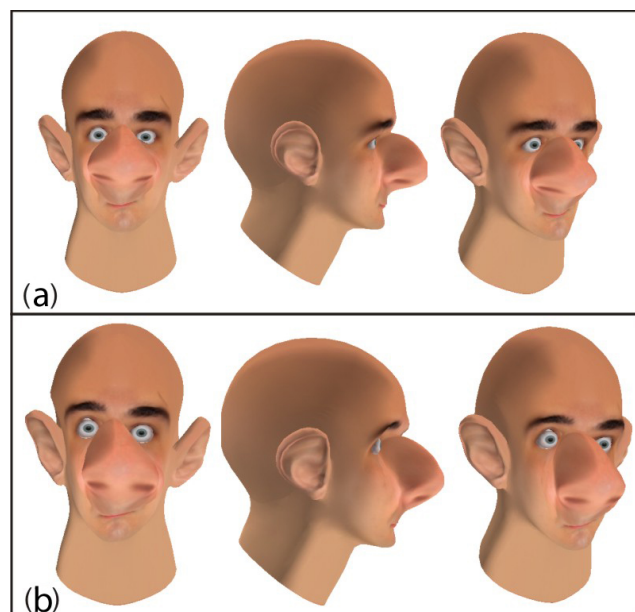


Figura 5.59: Alguns resultados possíveis após a aplicação de assimetria.

Passo 7: Aplicação de expressões.



Figura 5.60: Algumas expressões com deformação na região dos olhos.

O último passo consiste em aplicar deformações, a fim de gerar expressões faciais que darão o toque artístico final à caricatura. Utilizando o método de deformação por translação, é possível definir regras de movimento, com base em *landmarks*, a fim de gerar as expressões faciais desejadas. A Figura 5.60 ilustra as expressões faciais obtidas por deformações aplicadas à região das sobrancelhas. A Figura 5.61 mostra expressões faciais geradas por uma combinação de deformações em torno das sobrancelhas, do nariz e da boca. Para abrir a boca, é aplicada uma restrição entre os lábios utilizando uma abordagem semelhante à de Noh (2000). Ao mover a esfera para baixo, com posicionamento da esfera no centro da boca, os vértices do lábio superior não se movem.

5.4.2 Estudos de Casos

Nesta seção, para fins de comparação, foram geradas caricaturas para os mesmos cinco modelos apresentados por (LIU et al., 2009) (Figura 2.38). As caricaturas ilustradas nas três primeiras linhas representam os resultados obtidos pelo método de Liu et al. enquanto a última linha representa os resultados obtidos pelo método tradicional de *morphing*.

As caricaturas são ilustradas nas figuras 5.62 a 5.66. Os modelos 3D foram construídos utilizando, como entrada, a imagem frontal do rosto. As imagens utilizadas para gerar

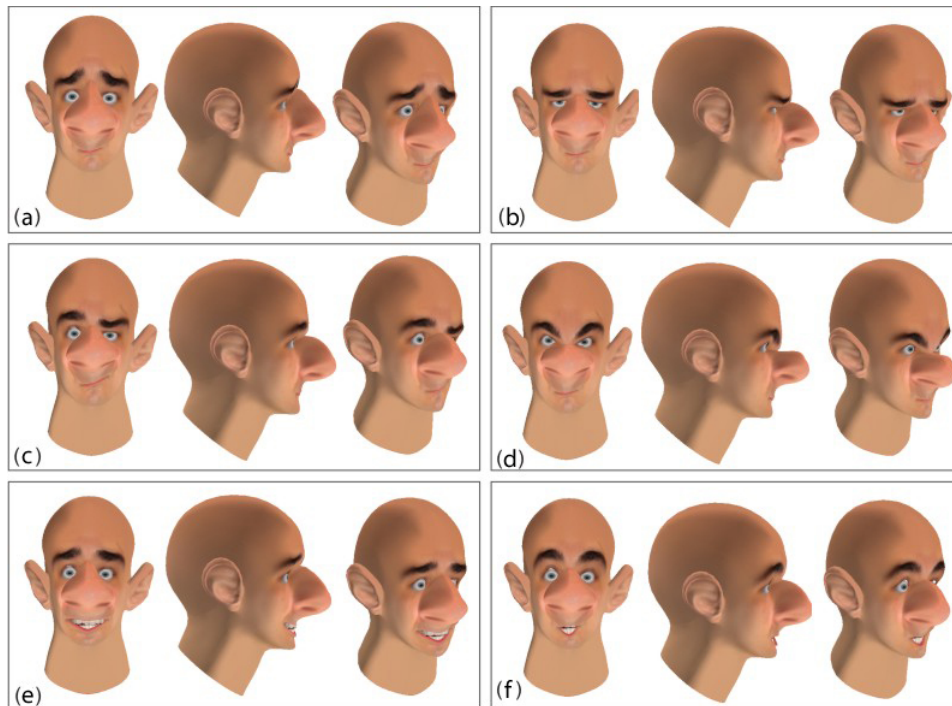


Figura 5.61: Expressões com combinação de deformações.

os modelos 3D foram diferentes das utilizadas por Liu porque a construção 3D utilizada requer imagens sem expressões e com boa resolução. A Tabela 5.6 mostra as proporções das medidas, em relação aos modelos de referência, de cada estudo de caso.

Os gráficos das Figuras 5.62 a 5.66 mostram que a maioria das proporções das medidas resultou em comportamento esperado - medidas maiores do que as medidas de referência foram ampliadas e aquelas menores do que as medidas de referência foram reduzidas. Dado que as medidas não são completamente independentes umas das outras, algumas medidas podem sofrer alargamento, quando a redução é esperada e vice-versa. Com os cinco estudos de casos, é possível ver que a técnica proposta gerou diferentes tipos de narizes, bocas, formatos de rosto, etc. Similarmente ao que foi feito no trabalho de (LIU et al., 2009), que apresentou as caricaturas das cinco personalidades a uma avaliação que levou em consideração os aspectos de: Similaridade, Aspecto Artístico e Exagero, foi realizada uma avaliação, por 23 voluntários, convidados a atribuir uma pontuação, na escala de 0-5, a esses três aspectos. As pontuações médias estão registradas na Tabela 5.7. As colunas de M1, M2 e M3 correspondem, respectivamente, ao método proposto, ao método MR apresentado por (LIU et al., 2009), e ao método de *morphing* tradicional, que também foi utilizado para comparação no trabalho de Liu.

Para que a caricatura seja aceitável, deve haver um equilíbrio entre similaridade e exagero. Em outras palavras, se a semelhança é muito alta, a caricatura perde suas características de exagerar traços importantes. No entanto, se o exagero está fora dos limites, é difícil associar a caricatura com o modelo real. No método proposto, é necessário um bom modelo 3D inicial, para a obtenção de boas caricaturas. O método MR-base foi melhor avaliado em relação à arte quando comparado com os outros métodos. Isso era esperado, já que

Proporções	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06
A'/A	0,93	0,97	1,02	0,98	1,14	1,61
B'/B	0,96	1,19	1,06	1,15	0,76	0,51
C'/C	1,00	1,04	1,05	1,04	0,93	1,42
D'/D	0,93	0,99	1,01	0,98	0,99	1,08
E'/E	1,07	0,88	0,91	1,13	1,16	0,16
F'/F	1,03	0,99	0,98	0,98	1,17	0,98
G'/G	1,02	1,13	1,08	1,02	1,02	1,49
H'/H	0,89	1,05	1,08	1,05	1,02	1,26
I'/I	0,92	0,98	1,01	1,09	1,00	1,16
J'/J	0,92	0,98	1,02	1,09	1,02	0,96
L'/L	0,92	1,01	1,06	1,11	0,98	1,65
M'/M	0,94	1,00	1,02	1,09	1,00	1,40
N'/N	0,92	1,01	1,03	1,09	1,08	6,98

Tabela 5.6: Proporções das medidas dos estudos de casos em relação às medidas dos modelos de referência.

Avaliação Métricas	Caso 01			Caso 02			Caso 03			Caso 04			Caso 05		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Similaridade	2,78	2,22	2,35	2,48	3,52	3,48	2,70	1,91	3,96	1,65	2,96	4,09	2,96	2,74	4,35
Arte	2,39	3,52	2,43	2,91	3,96	2,87	2,87	3,00	3,17	2,48	3,43	3,22	2,83	3,39	2,74
Deformação	3,04	4,09	2,83	3,57	3,52	2,26	3,83	3,57	2,74	3,70	3,65	2,87	3,04	3,74	2,00

Tabela 5.7: Avaliação dos resultados gerados pelo modelo proposto - M1, método MR-based (LIU et al., 2009) - M2 e método tradicional (LIU et al., 2009) - M3.

o método utiliza um banco de dados de caricaturas desenhadas por artistas e bancos de caricaturas 3D gerados manualmente por modeladores profissionais. Observe que, no Caso 04, o método gerou uma caricatura, que foi considerada muito exagerada e, portanto, foi mal avaliada em relação à similaridade. No entanto, como mencionado anteriormente, um conjunto de caricaturas diferentes poderia ter sido gerado e uma caricatura menos exagerada poderia ter sido escolhida. Também poderia ter sido utilizado um modelo inicial melhor. Nos outros casos, o método mostrou boa harmonia entre as três métricas e teve resultados comparáveis aos outros métodos. No entanto, o método proposto é vantajoso por não necessitar bases de dados de caricaturas 3D e por dispensar a ajuda de artistas hábeis.

Também foi solicitado aos 23 voluntários que atribuissem uma pontuação para indicar se eles consideravam importante a inclusão das assimetrias e expressões na caricaturas. A pontuação média para essa pergunta foi de 4,2.

Como estudo de caso final, foi utilizado o mesmo modelo de referência e um gato, para gerar uma caricatura. O resultado é ilustrado na Figura 5.67 e suas proporções iniciais estão na Tabela 5.6, na coluna C06 (Caso 06). Com esse estudo de caso, foi demonstrado que o método não precisa de modelos com a mesma topologia, como outros métodos fazem, e que o método é suficientemente versátil para ser aplicado a outras criaturas, mesmo com diferentes características faciais.

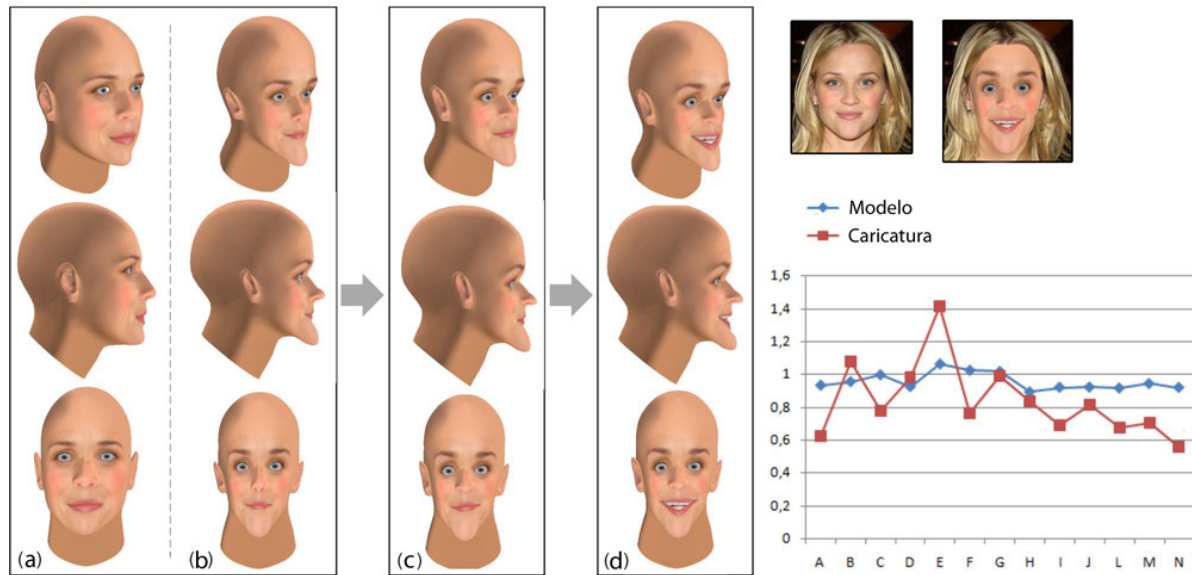


Figura 5.62: Resultados do Caso C01. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.

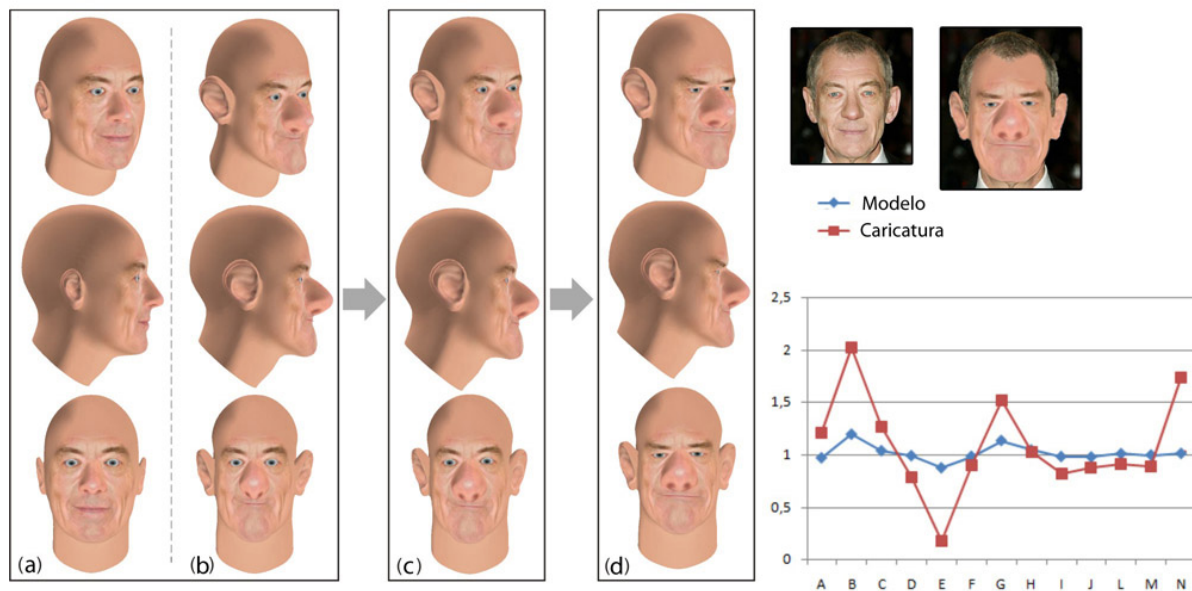


Figura 5.63: Resultados do Caso C02. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.

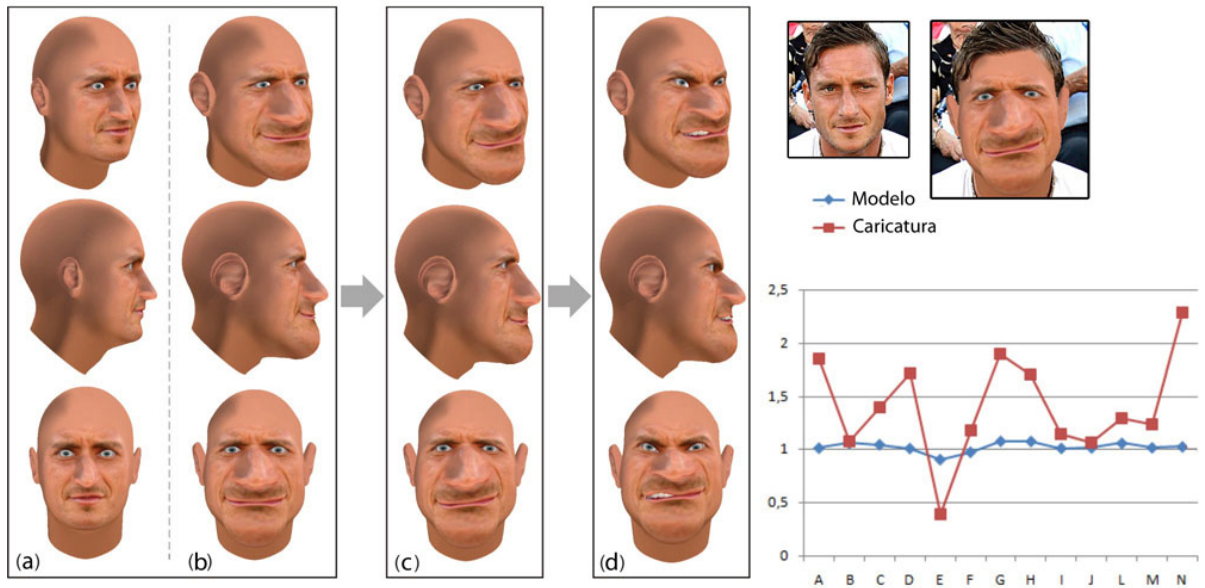


Figura 5.64: Resultados do Caso C03. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.

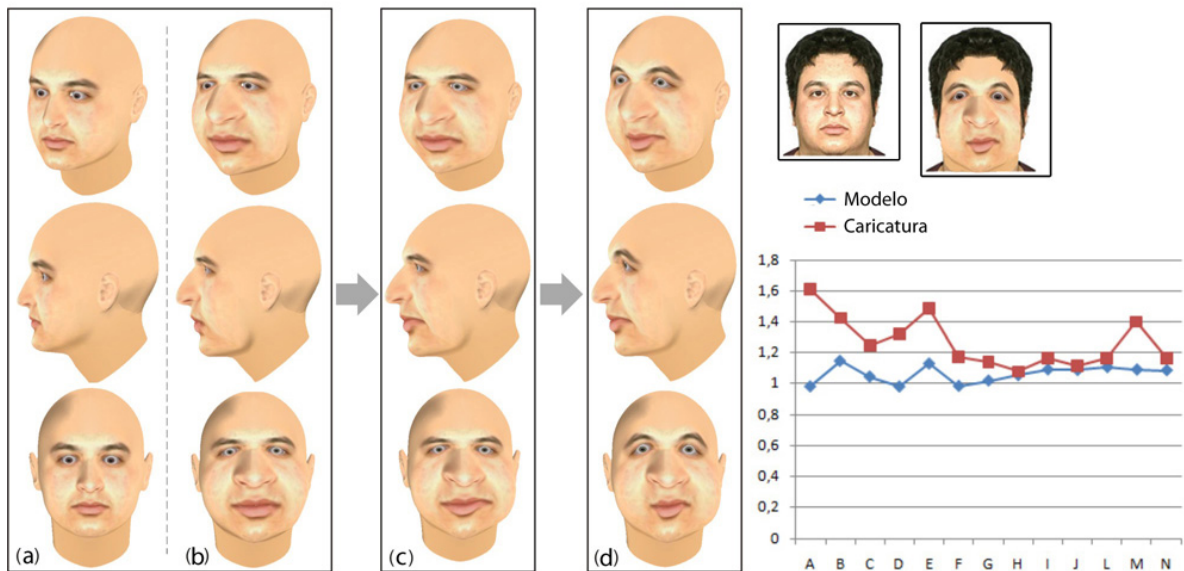


Figura 5.65: Resultados do Caso C04. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.

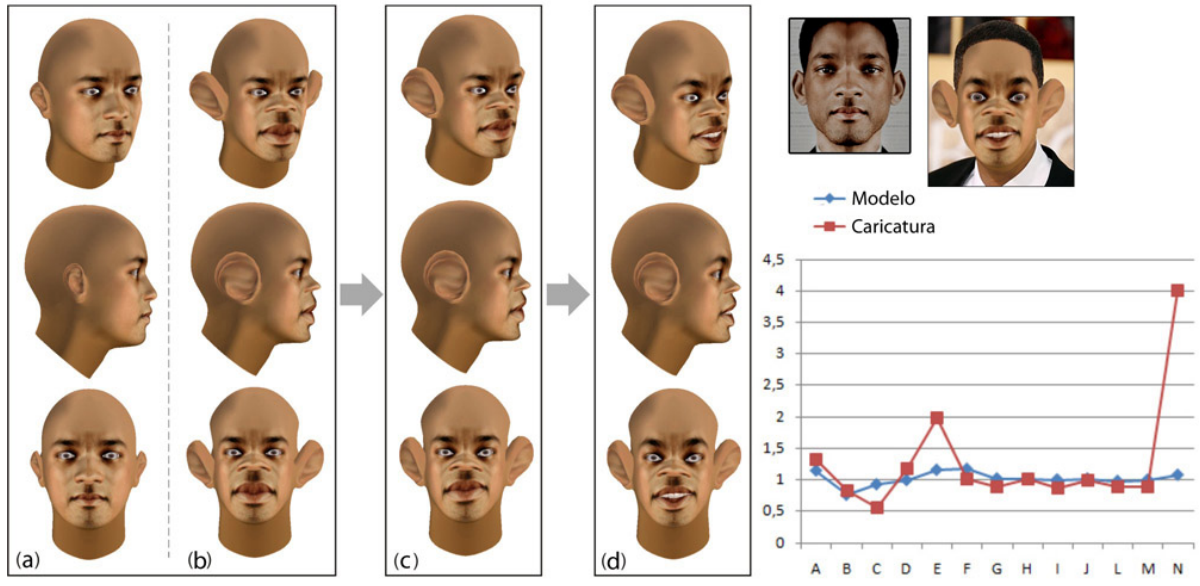


Figura 5.66: Resultados do Caso C05. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.

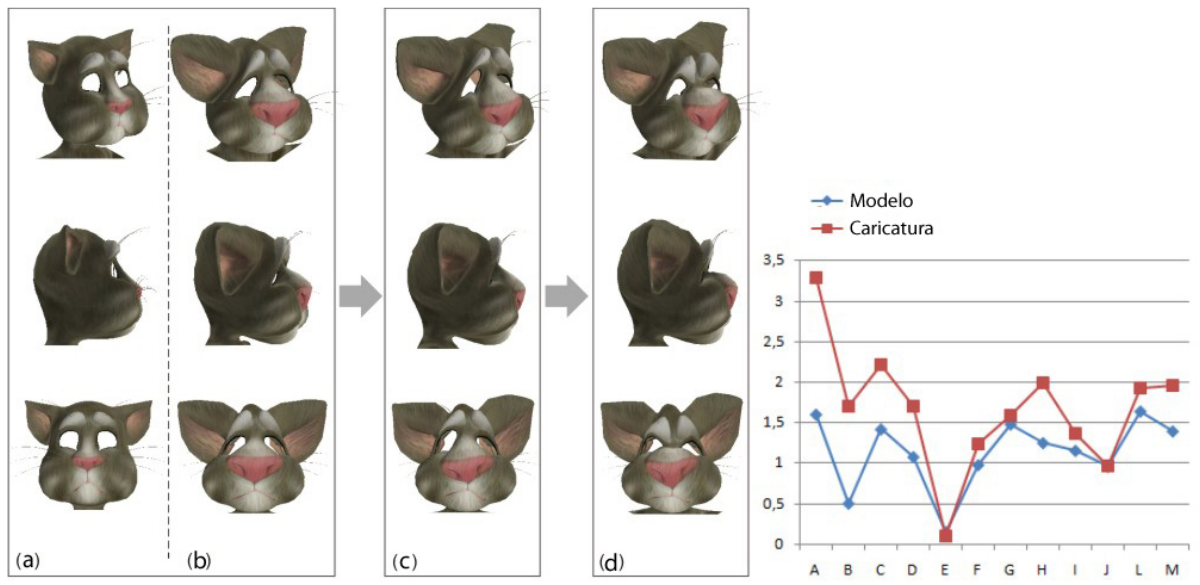


Figura 5.67: Resultados do Caso C06. (a) Modelo Inicial, (b) Caricatura, (c) Aplicação de assimetria, (d) Aplicação de expressões e comparação das proporções de medidas antes e depois da caricaturização.

5.5 Considerações Finais

Com o modelo de manipulação de medidas corporais apresentado na Seção 5.2, é possível alterar um grande número de medidas do corpo de modelos a serem utilizados em sistemas de realidade virtual e jogos, com o objetivo de gerar modelos com diferentes características físicas. O controle da adaptação do modelo usou pontos definidos por *landmarks* antropométricos cujos subagrupamentos definiram as características manipuladas. O sistema de deformação por translação e escala por zonas de influência garante suavidade nas deformações. O processo é genérico e pode ser utilizado em qualquer malha triangularizada, com independência de topologia, bastando identificar vértices na malha que definem as medidas. Esse modelo genérico, simples e rápido é uma grande vantagem, pois diferente de técnicas existentes na literatura, não exige uma estrutura pesada e específica para cada modelo a ser deformado ou uma base de dados pesada de modelos com formas distintas, além de aplicar adaptações personalizadas, de acordo com as medidas de cada modelo. Técnicas puras de *morphing* geram um acréscimo de deslocamento de vértices constantes para os diversos modelos. A técnica utiliza apenas um modelo base para a definição do conjunto de regras de manipulação das diversas características, sendo assim bastante versátil.

Na Seção 5.3, foi apresentado um sistema genérico para geração de expressões faciais, com base em antropometria e deformação de malhas por zonas de influência esféricas móveis. Nesse estudo, foram geradas expressões em modelos com diferentes topologias e diferentes características geométricas. O controle de adaptação dos pontos, definido pelo modelo, utiliza *landmarks* antropométricos gerando proporções que definem as expressões. O método proposto garante automatismo, independência de topologia de malha e adaptação de modelos (criaturas) com diferentes formas faciais. Outras técnicas de transferência de expressão precisam encontrar correspondências densas entre modelos, através de *volume morphing* ou projeção cilíndrica, para aplicar as deformações por RBF. Alguns outros trabalhos têm necessidade de personalizar um modelo base de entrada. Em geral, nesta etapa inicial, essas técnicas requerem cálculos pesados, gerando elevados custos computacionais. No método proposto, esse passo é simplificado. Ao contrário das técnicas de *morphing*, utilizadas para transferir expressões, as deformações em cada modelo é personalizada, podendo variar, de acordo com suas medidas e proporções. Não é necessário construir estruturas pesadas para cada modelo, ao contrário dos sistemas com camadas de pele, músculo e osso, ou qualquer outra intervenção específica para os novos modelos gerados. Assim, é possível a utilização de novos modelos em aplicativos que são executados em tempo real, com grande facilidade, sem necessidade de grandes configurações prévias.

Na Seção 5.4, foi apresentado um método para geração de caricatura com base na antropometria e em deformações impostas por manipulação de zonas de influência móveis. O método utiliza *landmarks* para definir medidas de um modelo de referência a serem coletadas e comparadas com as medidas correspondentes de um modelo a ser caricaturado. As proporções das medidas do modelo de referência e do modelo a ser caricaturado

determinam o nível de deformação a ser aplicado pela translação ou escala das zonas de influência. Esse método é independente de topologia de malha. Ao contrário de outras técnicas, é possível gerar variações de caricaturas, adotando diferentes sequências de translação e escala, bem como definir áreas de deformação maiores ou menores, com o uso de zonas de influência de raios diferentes. O método também não necessita de banco de dados de modelos 3D para ser utilizado como uma base de combinações ou comparações de modelos. A aplicação de assimetria e expressões, com o uso das mesmas técnicas de deformação, embora simples, aumenta a robustez do método e possibilita gerar resultados mais interessantes. A flexibilidade da solução permite ao usuário facilmente aplicar a técnica para outras criaturas, ou mesmo misturar a comparação de medidas com diferentes criaturas, como foi feito no Caso 06, com um modelo de referência humana e um gato, personagem de desenho animado, a ser caricaturado. Assim, é possível gerar caricaturas que destacam características de um personagem para serem utilizados em aplicações de realidade virtual, jogos, desenhos animados etc. Para melhorar a solução, poderiam ser incluídas mais medidas (apenas 13 medidas foram utilizadas), a fim de obter efeitos diferentes e para destacar outras características da face. Também é possível fazer algumas análises para ver como a ordem das deformações de medidas afetam o resultado final (a ordem das deformações foi feita a partir da medida A até N). Com essa análise é possível definir uma melhor ordem ou até mesmo deixar a ordem ser definida pelo usuário ou de forma aleatória, dando maior variabilidade aos resultados finais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Este trabalho apresentou uma solução para o problema de geração automática de personagens virtuais, assegurando grande variabilidade e transmissão de características físicas, através das gerações. A solução apresentada baseou-se no automatismo e na grande variabilidade que ocorre na reprodução de seres diploides. O processo necessita de uma descrição geométrica subjacente que se adapte segundo as informações genéticas armazenadas em uma estrutura diploide de cromossomos artificiais. O modelo geométrico usado neste estudo foi composto de malhas triangularizadas, por ser um sistema genérico e bastante utilizado. O controle da adaptação do modelo usou pontos definidos por landmarks antropométricos cujos subagrupamentos definiram as características genéticas armazenadas como genes nos pares de cromossomos homólogos artificiais. A adaptação das medidas foi feita com a utilização de deformações por zonas de influência esféricas e cilíndricas. Tal proposta de deformação é bastante intuitiva, rápida e simples, o que favorece a criação de um sistema genérico, podendo ser aplicado em diversos modelos com características físicas distintas, conforme demonstrado nos estudos de casos. Através do processo de meiose simulada, aplicado sobre a estrutura cromossômica de dois modelos geradores, gametas foram gerados para posteriormente serem usados na fecundação simulada. Os estudos de casos apresentados simularam a fecundação de gametas gerados a partir de modelos masculinos e femininos, considerando as possibilidades de combinação de modelos humanos com características étnicas diferentes e criaturas diversas, com formas faciais e corporais específicas (Figura 6.1(a)). Por ser uma técnica genérica, toda a configuração a cada modelo se dá de forma simples, com a seleção de *landmarks*, para a definição das medidas a serem incluídas nos cromossomos. Os tempos registrados na geração dos descendentes possibilitam a geração de populações em tempo real, em aplicações de realidade virtual e jogos.

Após a geração de novos modelos, é possível aplicar diversas técnicas de manipulação, de acordo com a necessidade do sistema. Tais sistemas de manipulação são genéricos e utilizam a mesma técnica de deformação por zonas de influência. A Figura 6.1(b) ilustra a geração de expressões faciais que podem ser transferidas para diversos outros modelos. A Figura 6.1(c) ilustra a manipulação corporal, que da mesma forma, pode ser transferida para outros modelos. Tal sistema tem como objetivo cobrir alterações corporais por fatores epigenéticos. A Figura 6.1(d) ilustra o estudo de caso de caricaturas aplicado ao

modelo gato. Este estudo demonstra que o processo é genérico, assim como os anteriores. Por fim, é possível voltar à simulação, utilizando o modelo manipulado. A Figura 6.1(e) ilustra o modelo que sofreu manipulação corporal e aplicação de caricatura. Este modelo foi introduzido no estudo de caso da árvore genealógica dos gatos, como o modelo (e).

Conforme demonstrado, todos os processos são genéricos, podendo ser aplicados a modelos diversos. A solução proposta, para a geração e manipulação de modelos, em contraste com aquelas apresentadas na literatura, é bem versátil, no sentido de que, além de garantir grande variabilidade, é capaz de gerar modelos que possuem características faciais semelhantes, simulando grupos de uma mesma família ou etnia, bem como permite o cruzamento entre indivíduos de grupos distintos, além de possibilitar manipulações específicas, como geração de expressões, manipulação corporal e geração de caricaturas.

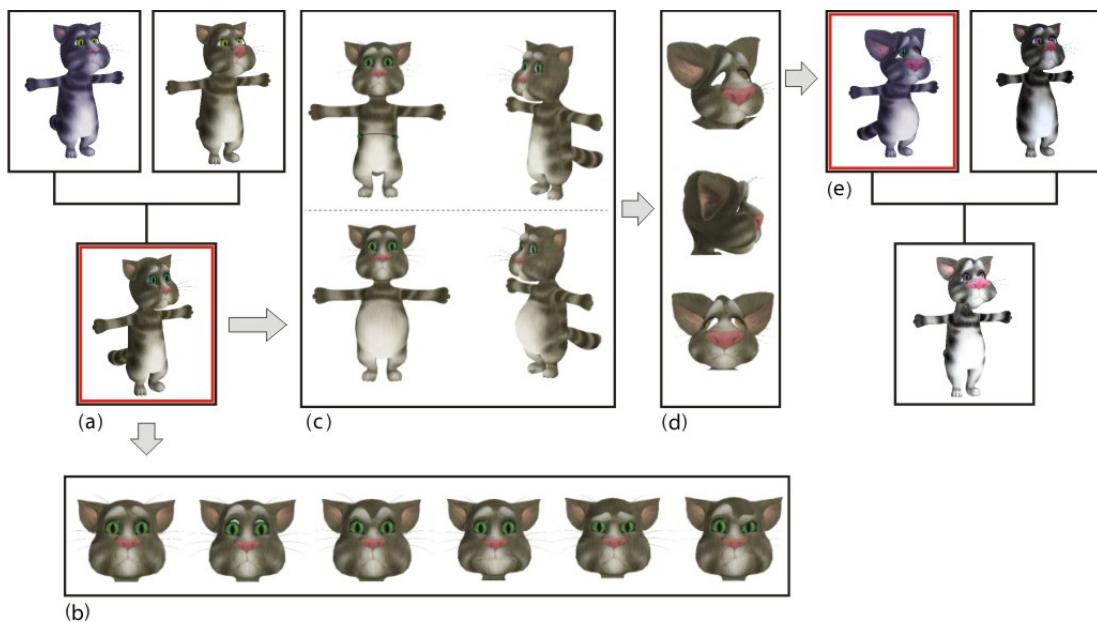


Figura 6.1: Reprodução e manipulação de personagens virtuais.

6.2 Principais Contribuições

Neste trabalho, temos como principais contribuições a definição de uma arquitetura para geração de personagens virtuais simulando o processo reprodutivo. Com a reprodução de personagens virtuais, podemos garantir a alta variabilidade das características físicas e de transmissão através das gerações. Conforme descrito anteriormente, trata-se de uma arquitetura flexível, com sistema de adaptação de medidas aplicado a malhas triangularizadas de personagens com formas faciais e corporais diversas. Foram escritos diversos artigos ao longo da evolução deste modelo (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2008b) (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2010d) (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2012).

Após a simulação da reprodução, é possível aumentar a interação em aplicações de realidade virtual e jogos, através da manipulação de medidas corporais, aplicação de expressões

faciais e geração de caricaturas ao grande conjunto de modelos gerados pelo sistema. No tópico de manipulação corporal foi escrito o artigo (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2010b); em expressões faciais foram escritos os artigos (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2010c) e (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2011); e em caricaturização de personagens foi escrito o artigo (VIEIRA; VIDAL; CAVALCANTE-NETO, 2010a).

Além dos artigos relativos aos tópicos da tese, foi utilizada uma adaptação do modelo do processo reprodutivo para um trabalho que resultou em dois artigos (CÁRDENAS et al., 2010a) e (CÁRDENAS et al., 2010b) e em trabalho de mestrado (CÁRDENAS, 2011). Esse modelo foi utilizado por (CÁRDENAS et al., 2010b) para desenvolver o problema de busca de pessoas desaparecidas (Figura 6.2).

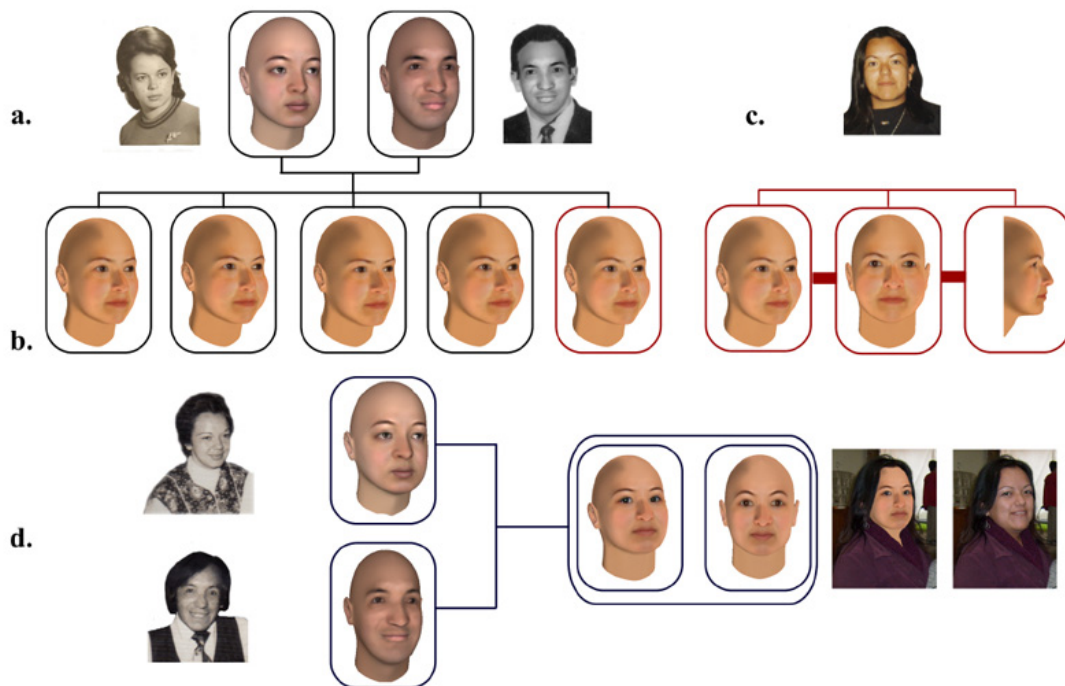


Figura 6.2: (a) Fotografias selecionadas e modelos 3D paternos. (b) Modelos da filha gerado a partir dos modelos paternos na idade de referência. (c) Modelo selecionado, na idade de desaparecimento. (d) Modelos paternos na idade alvo e modelo resultante.

A metodologia proposta utiliza a geração de personagens virtuais simulando o processo reprodutivo de seres diploides, modelando cuidadosamente as características dos pais da pessoa desaparecida. Os modelos paternos são gerados na idade do filho no momento do desaparecimento e suas características genéticas são armazenadas em suas estruturas de dados genômicas. Essas estruturas são usadas para construir os bancos de gametas masculinos e femininos que participarão de um processo de fecundação simulada. Os descendentes são gerados com a mesma idade da pessoa desaparecida no momento do desaparecimento. Através de um processo iterativo, um modelo plausível da pessoa desaparecida é selecionado entre os descendentes gerados e sua estrutura de dados genômica é armazenada. Os modelos paternos e suas estruturas de dados correspondentes são atualizados até alcançar a idade objetivo (idade na qual se quer projetar a pessoa desaparecida). Em seguida, a estrutura de dados genômica da pessoa desaparecida é atualizada com as

informações contidas nas estruturas de dados paternas já atualizadas, e um modelo da pessoa desaparecida na idade objetivo é gerado (Figura 6.2).

6.3 Trabalhos Futuros

Existem diversos tópicos a serem abordados em trabalhos futuros, envolvendo as técnicas de reprodução simulada, manipulação corporal, geração de expressões e caricaturas. Entre os tópicos relacionados à simulação do processo reprodutivo, destacamos um estudo com o aumento do número de características (medidas) inseridas na simulação, com o objetivo de verificar a possibilidade de eliminar a etapa de *morphing* da simulação. A inclusão da estrutura de esqueleto de personagens, que possibilitam animação com maior facilidade, no sistema reprodutivo permitiria a geração de personagens com essa estrutura pronta para animar. Para isso, bastaria incluir as medidas dos ossos no sistema de genes e alterar a estrutura de acordo com o resultado da simulação. Outro tópico relacionado a esse tema seria a criação de um ambiente controlado pela máquina, onde os personagens interagem entre si, ocorrendo aumento da população. Com este ambiente, seria analisado o desempenho do método em tempo real. Um estudo relacionado a mistura de genes poderia ser feito, a partir da interação de populações isoladas e movimentos migratórios. Com informações de mapeamento dos genes, poderia ser avaliado o potencial educativo para o ensino de genética, inclusive com a introdução de modelos de insetos com cruzamento de características já conhecido, tornando a aplicação fiel ao modelo real.

Entre os tópicos relacionados à manipulação corporal, destacamos um estudo mais detalhado de conjuntos de regras em modelos específicos. Com esse conjunto de regras criado, estas seriam incluídas no ambiente controlado por computador, juntamente com a simulação do processo reprodutivo, permitindo alterações corporais à medida que os modelos interagem com o ambiente, seja por alimentação, esforço físico, exposição a climas diversos, entre outros fatores ambientais. Também deve-se estudar e estabelecer relações e limites para as variações corporais. Além disso, devem-se estudar efeitos que possibilitem maior realismo à adaptação da malha, como a aplicação de física em regiões expandidas, acomodando a malha pela ação da gravidade.

Entre os tópicos relacionados à geração de expressões, destacamos um estudo mais detalhado de um conjunto de regras de aplicação de expressões para modelos específicos com inclusão no ambiente controlado por computador. No ambiente simulado, seria avaliado o desempenho do sistema com diversos modelos interagindo entre si, incluindo um campo visual, estabelecendo um raio de necessidade de aplicação dessas manipulações. Outro tópico seria o estudo comparado de desempenhos com diversas técnicas de geração de expressões a partir do ambiente controlado por computador.

Entre os tópicos relacionados à caricaturização de personagens, destacamos a inclusão de um maior número de medidas a serem deformadas. Deve-se fazer um estudo sobre relacionamento de medidas e ordem de aplicação de deformações verificando a existência de incoerências pela influência de adaptação de uma determinada medida em outras.

REFERÊNCIAS

- AKLEMAN, E.; PALMER, J.; LOGAN, R. Making extreme caricatures with a new interactive 2d deformation technique with simplicial complexes. In: *In Proceedings of Visual'2000*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 100–105.
- ALLEN, B.; CURLESS, B.; POPOVIC, Z. The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans. In: *Proceedings of ACM SIGGRAPH, Computer Graphics Annual Conference Series*. San Diego, CA, USA: [s.n.], 2003. p. 27–31.
- BEIGUELMAN, B. *A Interpretação Genética da Variabilidade Humana*. [S.l.]: SBG Sociedade Brasileira de Genética, 2008.
- BLANZ, V. Computing human faces for human viewers: Automated animation in photographs and paintings. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimodal User Interfaces*. Banff, Canada: [s.n.], 2006. p. 249–256.
- BLANZ, V. et al. Reanimating faces in images and video. In: *Proceedings of EUROGRAPHICS*. Granada, Spain: [s.n.], 2003.
- BLANZ, V.; VETTER, T. A morphable model for the synthesis of 3d faces. In: *26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. [S.l.: s.n.], 1999. p. 187–194.
- BUI, T. D. et al. Automatic face morphing for transferring facial animation. In: *Computer Graphics and Imaging*. Honolulu, Hawaii, USA: [s.n.], 2003. p. 19–23.
- CALDERA, A. J. et al. Caricaturing facial expressions. *Cognition.*, v. 76, n. 2, p. 105–146, 2000.
- CHIANG, P.-Y.; LIAO, W.-H.; LI, T.-Y. Automatic caricature generation by analyzing facial features. In: *Asian Conference on Computer Vision*. Jeju Island, Korea: [s.n.], 2004. p. 27–30.
- CÁRDENAS, M. I. *Geração de Prole Virtual por Reprodução Simulada Aplicada ao Problema de Pessoas Desaparecidas*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: [s.n.], 2011.
- CÁRDENAS, M. I. et al. Geração de prole virtual por fecundação simulada aplicada ao problema de pessoas desaparecidas. In: *Proceedings of the 12th Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Porto Alegre: [s.n.], 2010. p. 204–211.
- CÁRDENAS, M. I. et al. Towards the solution of the missing persons problem by simulated reproduction of virtual characters. In: *Proceedings of the 23rd Conference on Graphics, Patterns and Images*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 301–308.

- DECARLO, D.; METAXAS, D.; STONE, M. An anthropometric face model using variational techniques. In: *Proceedings of 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. [S.l.: s.n.], 1998. p. 67–74.
- FARKAS, L. *Anthropometry of the head and face*. [S.l.]: Raven Press, 1994.
- FRATARCANGELI, M.; SCHAERF, M.; FORCHHEIMER, R. Facial motion cloning with radial basis functions in mpeg-4 fba. *Graphical Models*, v. 69, n. 2, p. 106–118, 2007.
- GOLOVINSKIY, A. et al. A statistical model for synthesis of detailed facial geometry. *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH 2006)*, v. 25, n. 3, p. 1025–1034, 2006.
- GOOCH, B.; REINHARD, E. Human facial illustrations: Creation and psychophysical evaluation. *ACM Transactions on Graphics.*, v. 23, n. 1, p. 27–44, 2004.
- HANCOCK, P. J. B.; FROWD, C. D. Evolutionary generation of faces. In: *Proceedings of of AISB*. [S.l.: s.n.], 1999. p. 93–99.
- KAHLER, K. et al. Head shop: generating animated head models with anatomical structure. In: *Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*. Texas: [s.n.], 2002.
- KALRA, P. et al. Simulation of facial muscle actions based on rational free from deformations. In: *Eurographics*. [S.l.: s.n.], 1992. p. 59–69.
- KASAP, M.; MAGNENAT-THALMANN, N. Modeling individual animated virtual humans for crowds. In: *ACM SIGGRAPH ASIA 2008*. [S.l.: s.n.], 2008.
- KOLAR, J. C.; SALTER, E. M. *Craniofacial Anthropometry : Practical Measurement of the Head and Face for Clinical, Surgical and Research Use*. [S.l.]: Charles C. Thomas Publisher, Ltd., 1997.
- LAU, M. et al. Face poser: interactive modeling of 3d facial expressions using model priors. In: *Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*. San Diego, California: [s.n.], 2007.
- LEE, W.-S.; SOON, A.; ZHU, L. 3d facial model exaggeration builder for small or large sized model manufacturing. *Virtual Reality.*, v. 11, p. 229–239, 2007.
- LIANG, L. et al. Example-based caricature generation with exaggeration. In: *Proceedings of the 10th IEEE Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*. [S.l.: s.n.], 2002. p. 386–393.
- LIM, Y.-K.; FEDOROV, A.; KIM, S.-D. 3d caricature generation system on the mobile handset using a single photograph. In: *In Proceedings of the ICCPW'07*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 37.
- LIU, J.; CHEN, Y.; GAO, W. Mapping learning in eigenspace for harmonious caricature generation. In: *In Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 683–686.

- LIU, J. et al. Semi-supervised learning in reconstructed manifold space for 3d caricature generation. *Computer Graphics Forum.*, v. 28, n. 8, p. 2104 – 2116, 2009.
- MARTÍNEZ-ABADÍAS, N. *Evolutionary patterns of the human skull. A quantitative genetic analysis of craniofacial phenotypic variation*. Tese (Doutorado), Barcelona: Universidad de Barcelona., 2007.
- MARTÍNEZ-ABADÍAS, N.; GONZÁLEZ-JOSÉ, R.; GONZÁLEZ-MARTÍN, A. Phenotypic evolution of human craniofacial morphology after admixture: a geometric morphometrics approach. *Am J Phys Anthropol*, v. 129, p. 387–398, 2006.
- MAURO, R.; KUBOVY, M. Caricature and face recognition. *Memory and Cognition*, v. 20, n. 4, p. 433–440, 1992.
- NOH, J.; FIDALEO, D.; NEUMANN, U. Animated deformations with radial basis functions. In: *VRST*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 166–174.
- NOH, J.; NEUMANN, U. A survey of facial modeling and animation techniques. In: *USC Technical Report*. [S.l.: s.n.], 1998.
- NOH, J.; NEUMANN, U. Expression cloning. In: *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques SIGGRAPH*. New York, NY: [s.n.], 2001. p. 277–288.
- PRAUN, E.; SWELDENS, W.; SCHRODER, P. Physically based grasping control from example. In: *Proceedings of ACM SIGGRAPH*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 179–184.
- PYUN, H. et al. An example-based approach for facial expression cloning. In: *Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*. San Diego, California: [s.n.], 2003.
- RAUTEK, P.; VIOLA, I.; GRÖLLER, E. Caricaturistic visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics.*, v. 12, n. 5, p. 1085–1092, 2006.
- SEO, H.; THALMANN, N. An automatic modeling of human bodies from sizing parameters. In: *Proceedings of the symposium on Interactive 3D graphics*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 19–26.
- SHET, R. N. et al. Use of neural networks in automatic caricature generation: an approach based on drawing style capture. In: *In Proceedings IbPRIA'05*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 343–351.
- SOON, A.; LEE, W.-S. Shape-based detail-preserving exaggeration of extremely accurate 3d faces. *The Visual Computers.*, v. 22, p. 478–492, 2006.
- STARR, C.; TAGGART, R. *Biology: The unity and diversity of life*. [S.l.]: Wadsworth Publishing Company, 1995.
- SUCONTPHUNT, T. et al. Interactive 3d facial expression posing through 2d portrait manipulation. In: *Proceedings of graphics interface 2008*. Ontario, Canada: [s.n.], 2008.
- THEOBALD, B. et al. Real-time expression cloning using appearance models. In: *Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces*. Nagoya, Aichi, Japan: [s.n.], 2007.

- TILLEY, A. R.; ASSOCIATES, H. D. *The Measure of Man and Woman revised edition*. [S.l.]: Wiley, 2002.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. A biologically inspired generation of virtual characters. In: *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing*. New York: [s.n.], 2008. p. 1218–1224.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Transmissão de características genéticas na geração de personagens virtuais. In: *Proceedings of the 10th Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Porto Alegre: [s.n.], 2008. p. 348–358.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Caricaturização de personagens virtuais por deformação de medidas antropométricas. In: *Proceedings of the 12th Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Porto Alegre: [s.n.], 2010. p. 93–101.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Manipulação corporal de personagens virtuais por deformações de medidas antropométricas. In: *Proceedings of the 12th Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Porto Alegre: [s.n.], 2010. p. 102–111.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Mapeamento automático de expressões faciais baseado em proporções de medidas antropométricas. In: *Proceedings of the 12th Symposium on Virtual and Augmented Reality*. Porto Alegre: [s.n.], 2010. p. 84–92.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Simulation of genetic inheritance in the generation of virtual characters. In: *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference 2010*. Waltham, Massachusetts, USA: [s.n.], 2010. p. 119–126.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Expression cloning based on anthropometric proportions and deformations by motion of spherical influence zones. *SBC Journal on 3D Interactive Systems*, v. 2, p. 14–22, 2011.
- VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Reproducing virtual characters. *Computers & Graphics*, v. 36, n. 2, p. 80–91, 2012.
- VLASIC, D. et al. Face transfer with multilinear models. *ACM Transactions on Graphics*, v. 24, n. 3, p. 426–433, 2005.
- WEISE, T. et al. Face/off: live facial puppetry. In: *Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. New Orleans, Louisiana: [s.n.], 2009.
- XIE, J. et al. Interactive 3d caricature generation based on double sampling. In: *MM09*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 745–748.
- YANO, K.; HARADA, K. A facial expression parameterization by elastic surface model. *International Journal of Computer Games Technology*, v. 2009, p. 1–11, 2009.

APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES DO PROCESSO REPRODUTIVO

Neste apêndice, são apresentadas as características utilizadas nos estudos de simulação do processo reprodutivo. São ilustradas as medidas da face utilizadas no modelo humano (mesmas medidas utilizadas na simulação do gato) e medidas corporais utilizadas na simulação do gato. Em seguida ilustramos as medidas dos demais estudos.

A.1 Medidas utilizadas nas simulação em faces humanas e modelo Gato

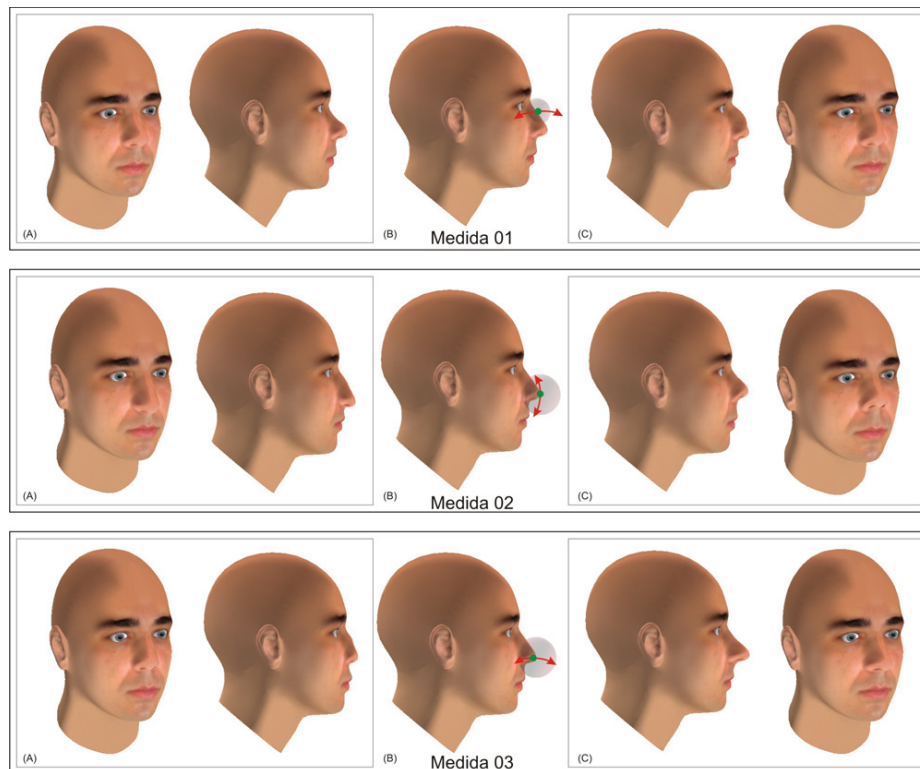


Figura A.1: Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.

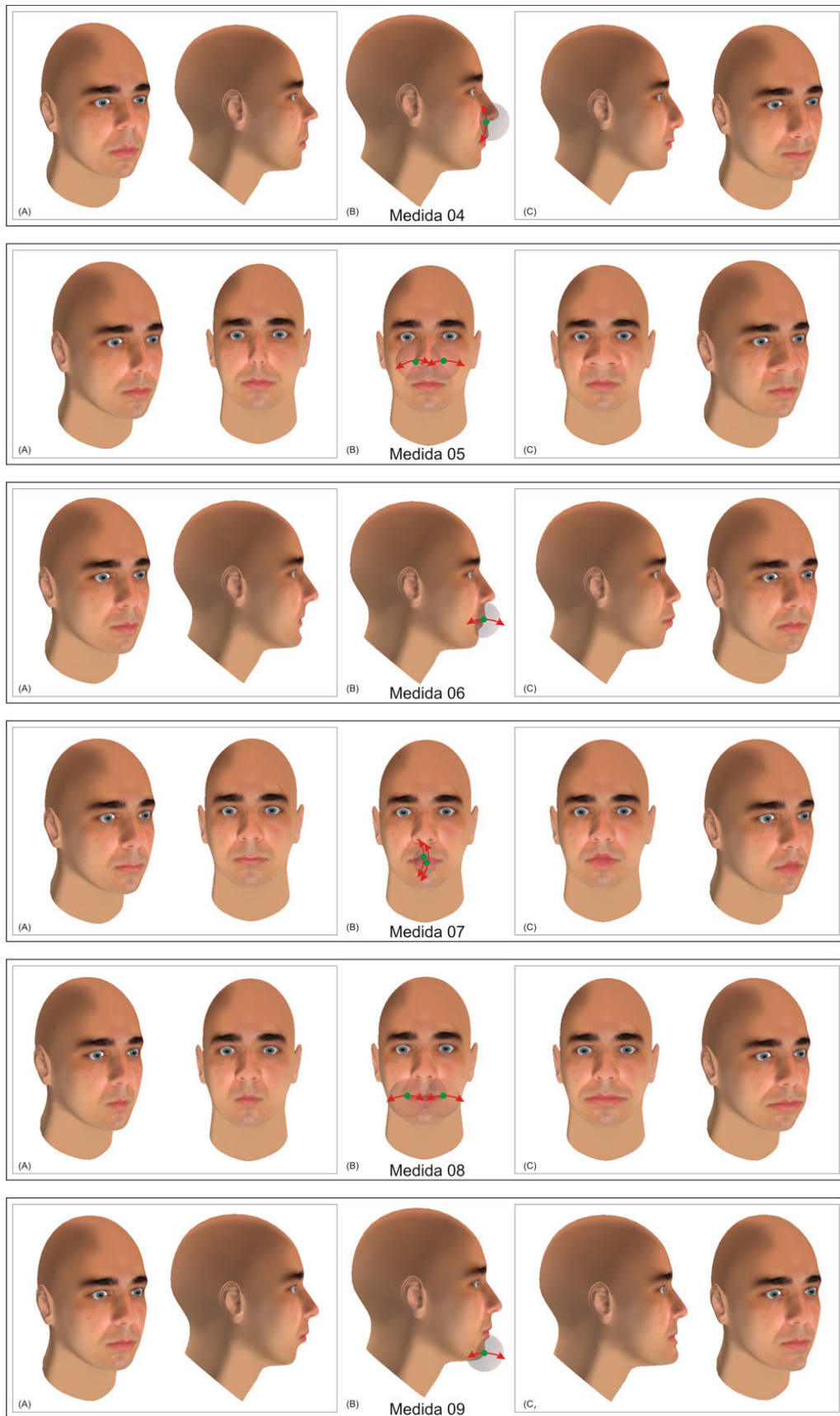


Figura A.2: Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.

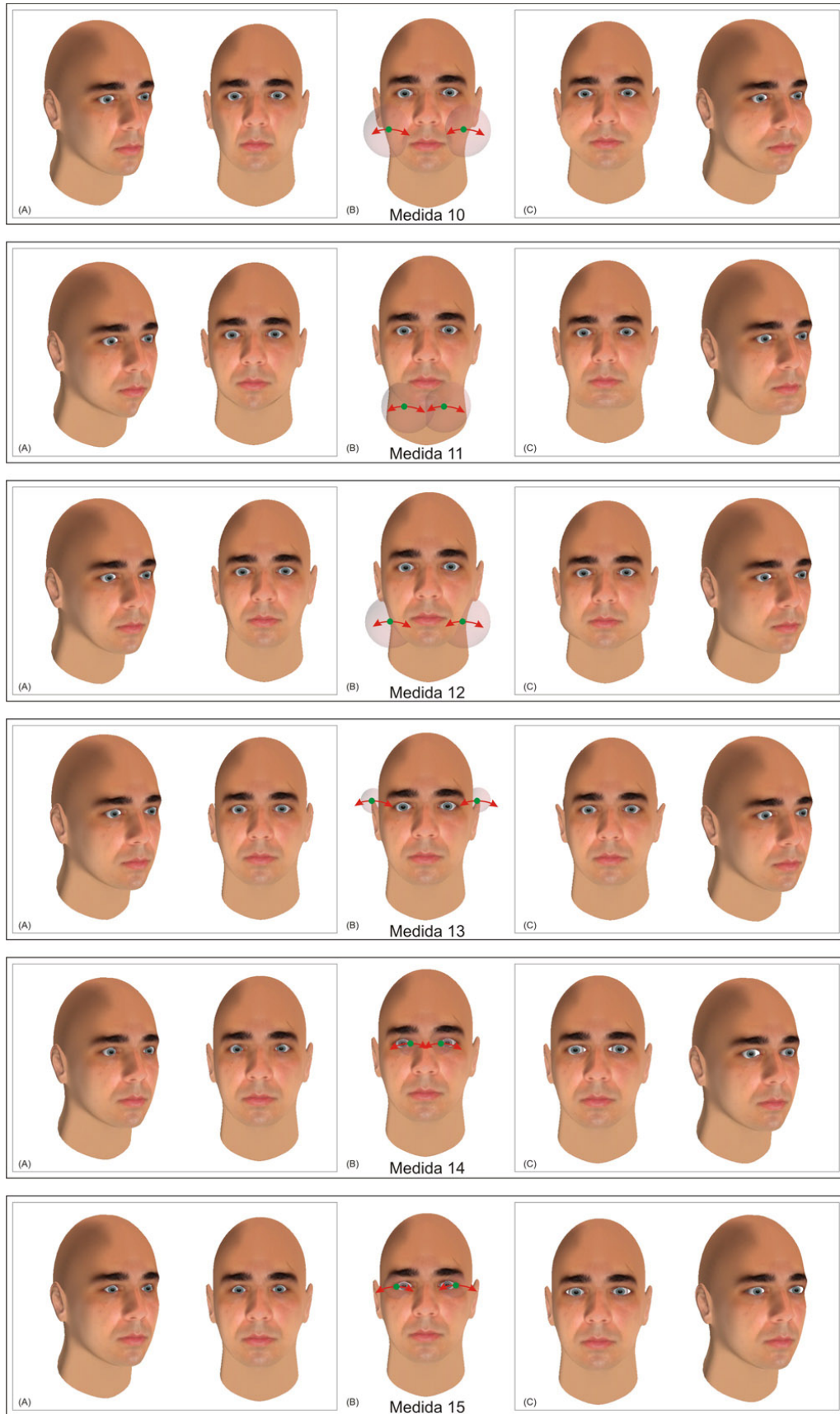


Figura A.3: Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.

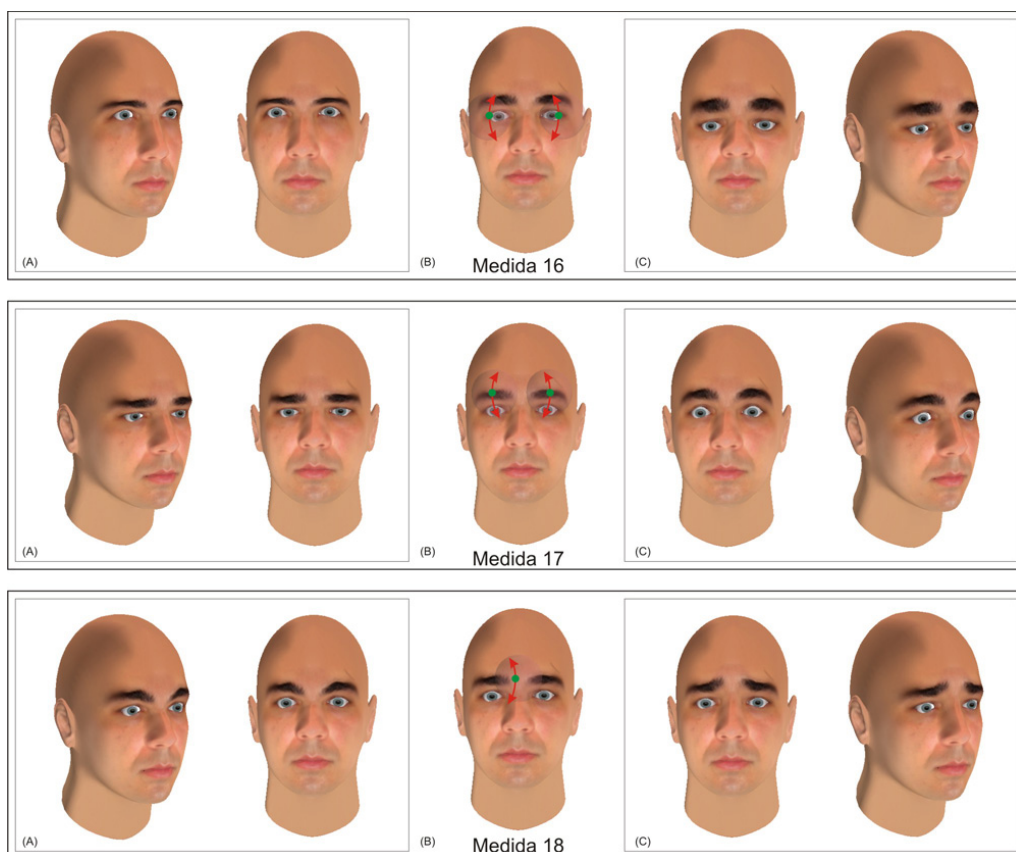


Figura A.4: Medidas utilizadas na simulação de faces humanas.

A.2 Medidas utilizadas na simulação do modelo Gato.

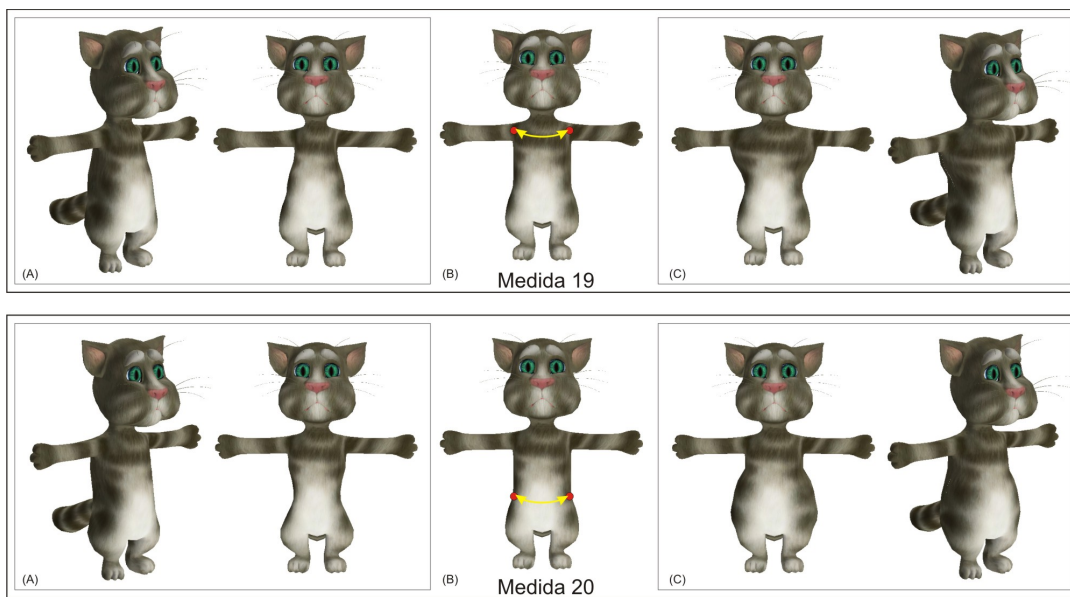


Figura A.5: Medidas utilizadas na simulação do modelo Gato.

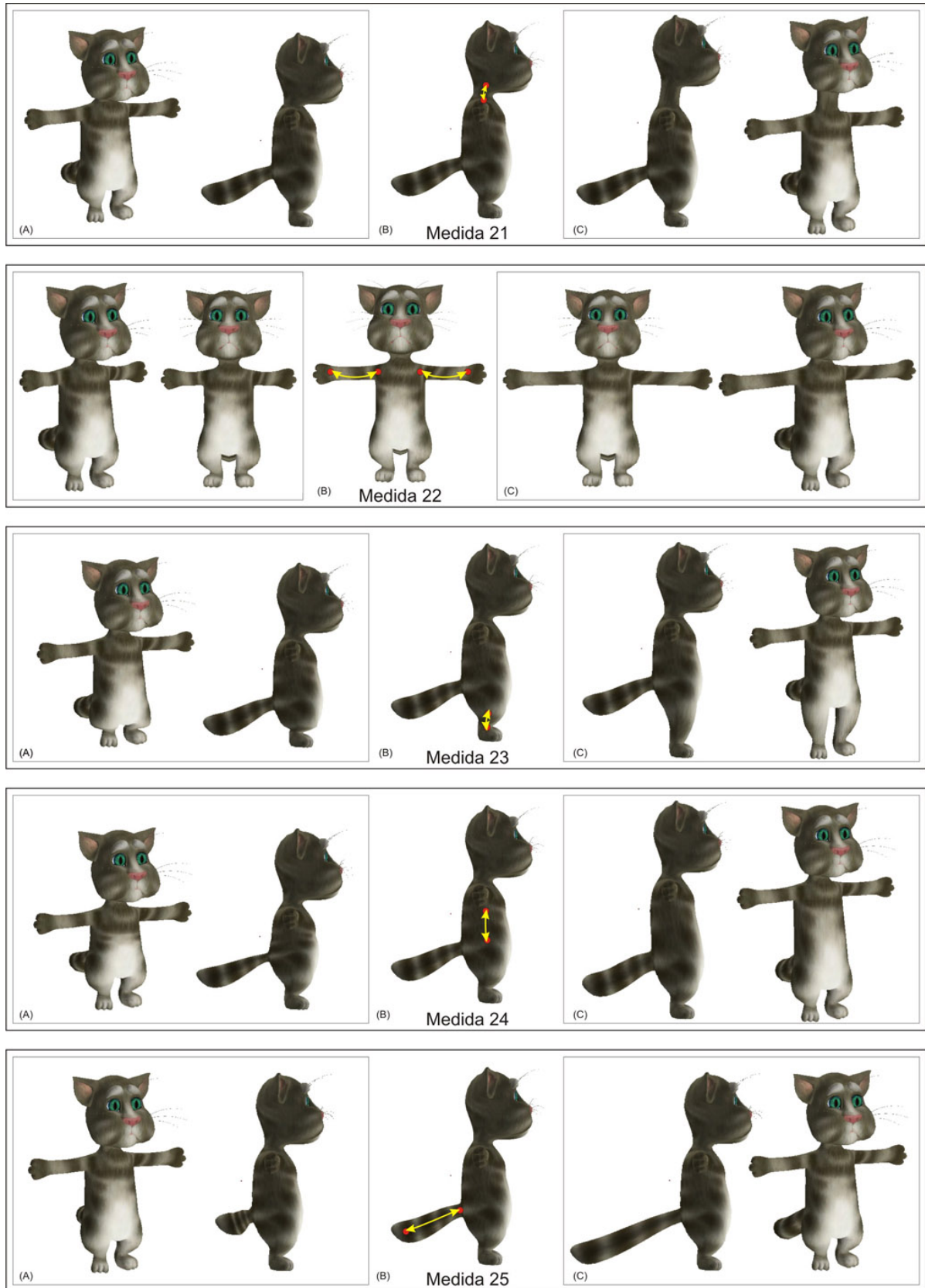


Figura A.6: Medidas utilizadas na simulação do modelo Gato.

A.3 Resultados da simulação do modelo Gato



Figura A.7: Modelos resultantes da simulação Gato, ampliados.

A.4 Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I

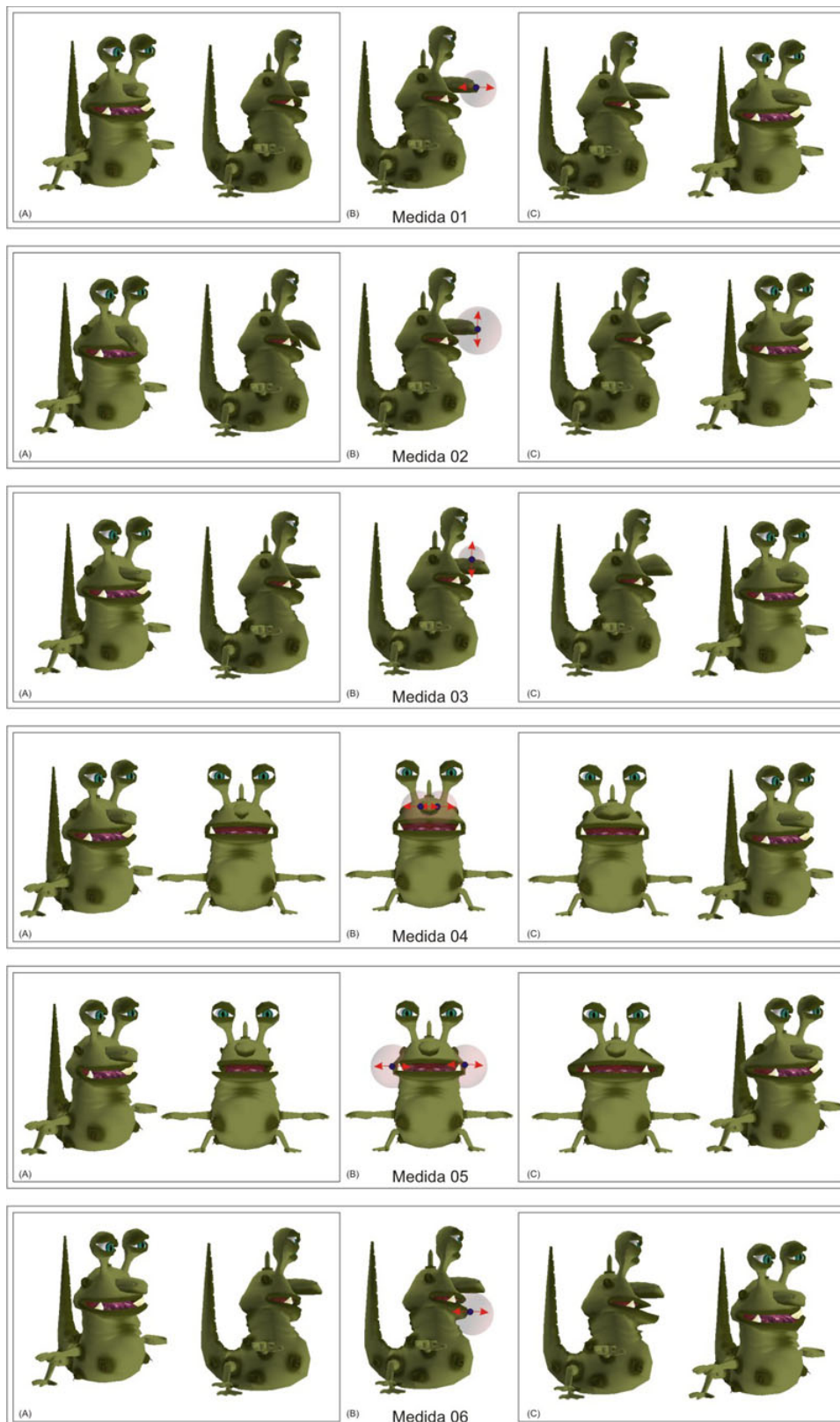


Figura A.8: Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I.

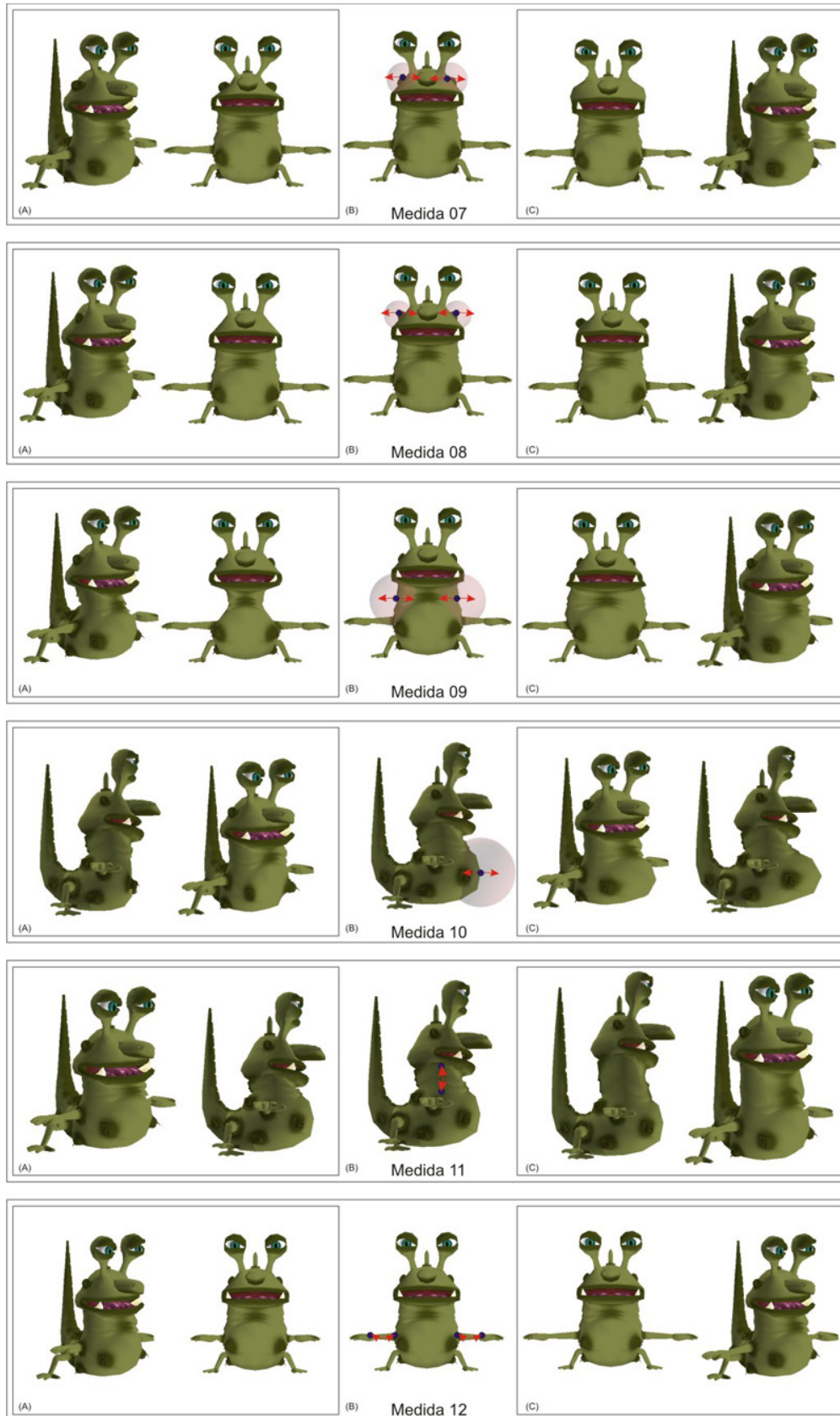


Figura A.9: Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I.

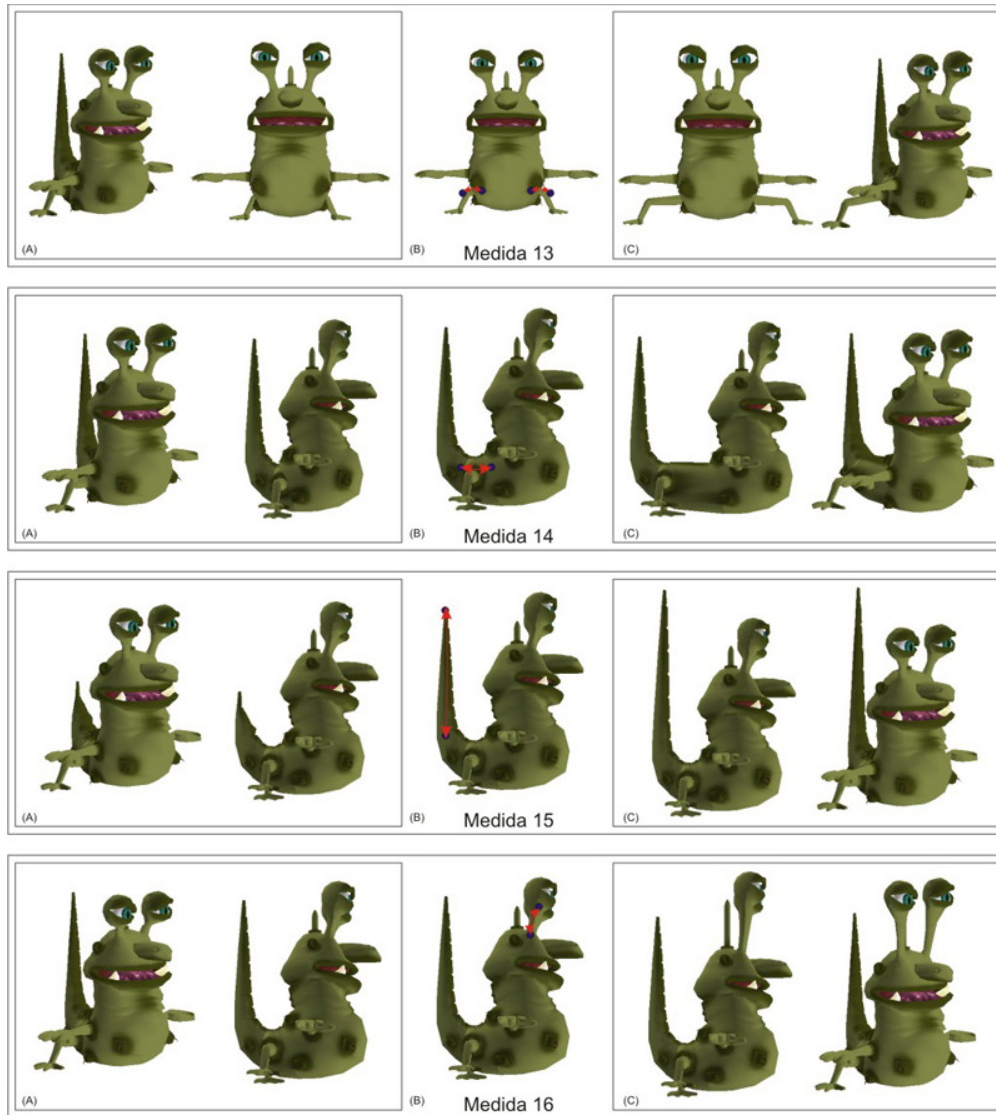


Figura A.10: Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura I.

A.5 Resultados da simulação do modelo Criatura I



Figura A.11: Modelos resultantes da simulação Criatura I, ampliados.

A.6 Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura II

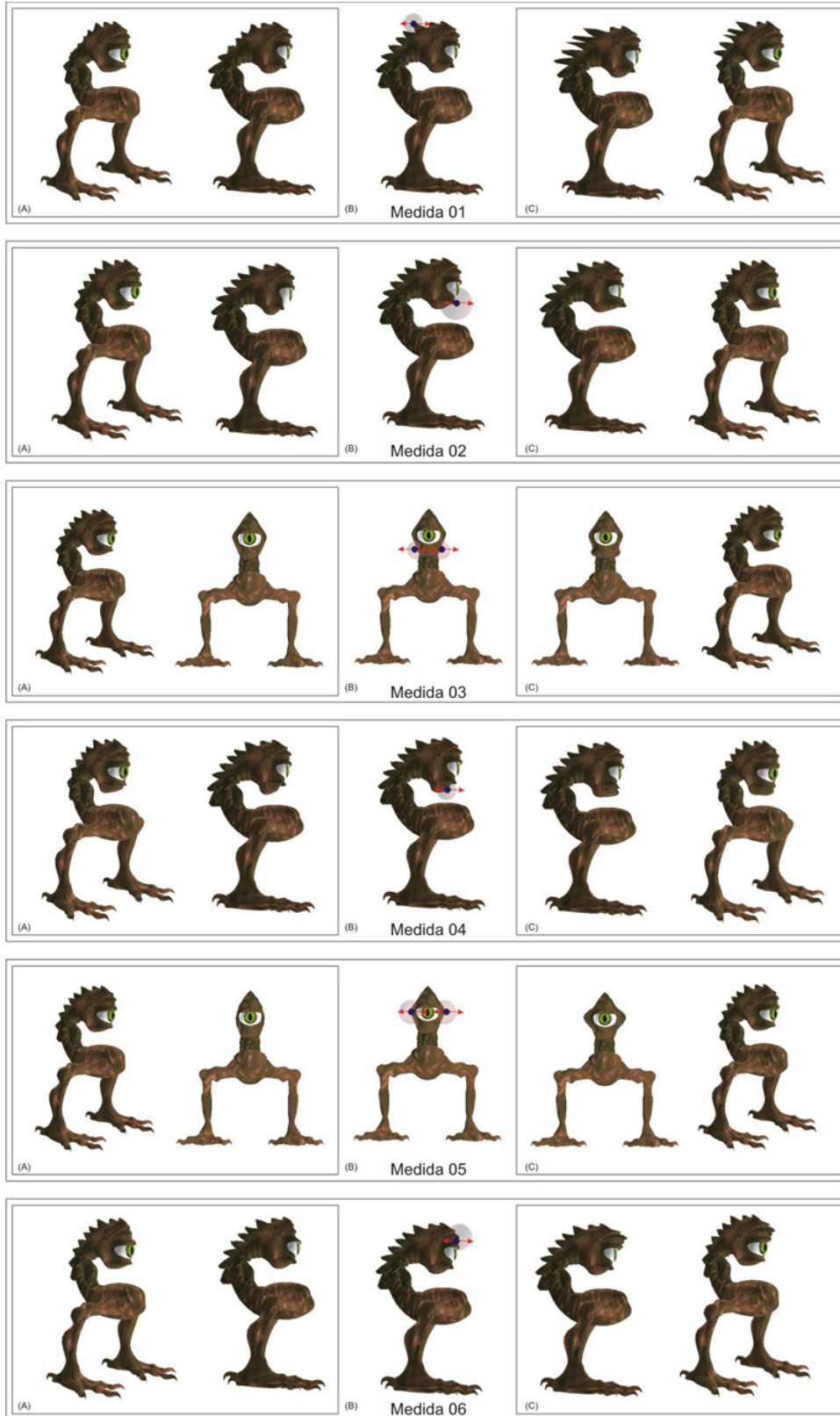


Figura A.12: Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura II.

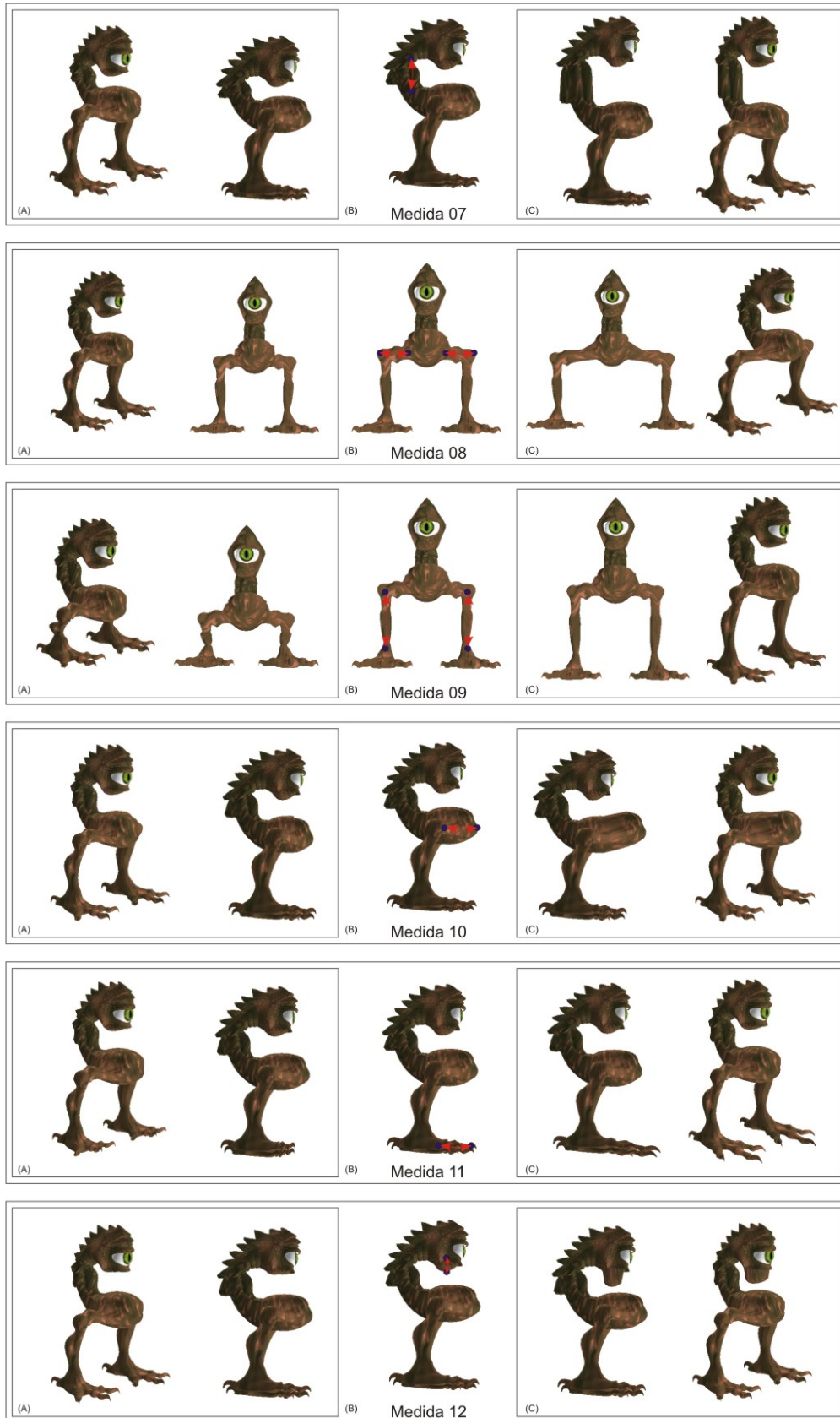


Figura A.13: Medidas utilizadas na simulação do modelo Criatura II.

A.7 Resultados da simulação do modelo Criatura II

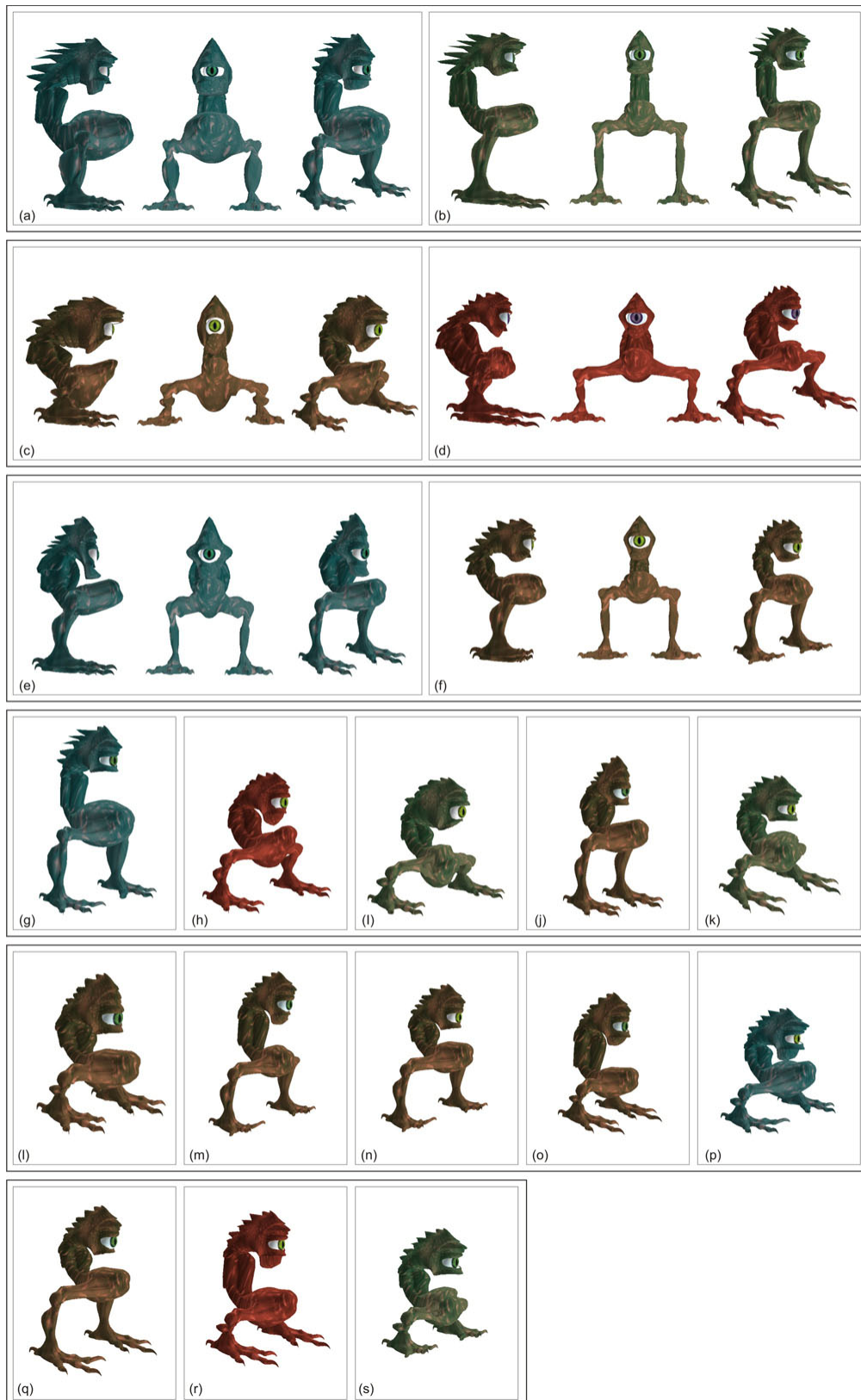


Figura A.14: Modelos resultantes da simulação Criatura II, ampliados.