



ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E
HUMANIDADES

EACH - USP

**Geração de expressões faciais a
partir de antropometria e
gramáticas para aplicação em
jogos psiquiátricos**

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA – PIBIC/CNPQ/USP

RELATÓRIO FINAL

Autor:
Rafael Luiz Testa

Orientadora:
Profa. Dra. Fátima L. S.
Nunes Marques

SÃO PAULO - JULHO/2014

Resumo

Processar e identificar emoções faciais é um componente essencial para estabelecer interação entre pessoas. Alguns transtornos psiquiátricos podem limitar a capacidade de um indivíduo em reconhecer emoções em expressões faciais. A fim de contribuir com a solução deste problema técnicas computacionais podem ser utilizadas como ferramentas destinadas ao diagnóstico, avaliação e treinamento no reconhecimento de emoções faciais. Este trabalho apresenta uma abordagem que usa *splines*, linguagens formais, antropometria e *Facial Action Coding System (FACS)* para gerar caricaturas que representam as emoções neutra, satisfação, tristeza, raiva, aversão-nojo, medo e surpresa. Uma avaliação com usuários voluntários saudáveis indicou que algumas emoções são mais facilmente reconhecidas e que as caricaturas precisam ser aperfeiçoadas para outras emoções. A abordagem é promissora, uma vez que confere flexibilidade, a partir de parâmetros, para definir a intensidade da emoção que deve ser representada e, futuramente, outras características como gênero, grupo étnico e idade.

Sumário

1	Introdução	7
1.1	Objetivos	8
2	Revisão bibliográfica	10
2.1	Antropometria	10
2.2	Expressões faciais	12
2.3	Gramáticas	15
2.4	Geração de imagens	17
2.5	Trabalhos correlatos	18
3	Metodologia	21
3.1	Representação da face	21
3.1.1	Modelo antropométrico	21
3.2	<i>Splines</i>	33
3.3	Representação de emoções	33
3.3.1	O modelo de representação das expressões faciais por meio de FACS	34
3.4	Integração com a gramática	42
3.4.1	Construção do Grafo AND-OR	42
3.5	Avaliação das imagens geradas	44
4	Resultados	46
4.1	Discussão	49
4.1.1	Avaliação global das caricaturas	50
4.1.2	Variáveis demográficas e coerência das respostas	51
5	Considerações finais	53
A	Generating facial emotions using anthropometry and formal languages for individuals suffering from psychiatric disorders	
B	Avaliação de desempenho do aluno	

C Avaliação do Programa

Lista de Figuras

2.1	<i>Landmarks</i> antropométricos faciais. (FARKAS, 1994)	11
2.2	Medições antropométricas faciais. (FARKAS, 1994)	11
2.3	Exemplos das unidades de ação 1, 2 e 4.	12
2.4	<i>Exemplo de grafo AND-OR de relógios de parede.</i> A imagem ilustra a estrutura geral do grafo e grafos sintáticos de exemplos de relógios. Fonte: (LIN et al., 2009).	17
2.5	Exemplos de modificação nos pontos de controle em <i>b-splines</i> . Retirado de (FOLEY, 1996)	18
2.6	Funcionamento do sistema. Adaptado de (YANG et al., 2009)	19
2.7	Modelos masculinos variados (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998)	20
3.1	Esquemática da metodologia.	22
3.2	<i>Landmarks</i> utilizados para a construção dos <i>sketchs</i> . As marcações em vermelho representam os pontos de controle utilizados nas curvas, e as marcações em azul são pontos empregados como auxiliares para posicionamento de outros pontos de controle. Além disso, foram criados pontos com letras verdes para construir as curvas.	25
3.3	A linha vermelha interna mostra a relação entre o tamanho do envoltório e a curva contida. A linha externa delimita um envoltório que é o dobro do tamanho. A curva em preto corresponde a uma parte do rosto e em verde seus pontos de controle.	35
3.4	<i>Ilustração do grafo AND-OR parcial com a face neutra e as emoções Satisfação e Tristeza.</i>	43
3.5	Exemplo de formulário usado para coletar dados.	45
4.1	Expressões faciais utilizadas na avaliação.	47
4.2	Taxa de acerto das respostas para cada emoção avaliada.	48
4.3	Taxa de acerto das respostas para cada gênero.	48
4.4	Taxa de acerto das respostas para cada faixa etária.	49

Lista de Tabelas

2.1	Descrições da aparência de cada unidade de ação baseados em (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)	13
2.1	Descrições da aparência de cada unidade de ação baseados em (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)	14
2.1	Descrições da aparência de cada unidade de ação baseados em (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)	15
2.2	Relação entre unidades de ação e as emoções. Adaptada de (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)	15
3.1	Inferências feitas a partir da antropometria.	23
3.1	Inferências feitas a partir da antropometria.	24
3.2	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para os olhos.	26
3.3	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para sobrancelha.	27
3.4	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para as pálpebras.	27
3.5	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para o nariz.	28
3.6	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para os lábios.	28
3.7	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para as pupilas.	29
3.8	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para os enrugamentos dos olhos.	29
3.9	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para enrugamento da testa.	30
3.10	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para enrugamento das bochechas.	30
3.10	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para enrugamento das bochechas.	31
3.11	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para os enrugamentos do nariz.	31
3.11	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para os enrugamentos do nariz.	32
3.12	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i> para enrugamento das bochechas.	32
3.13	Cálculo do posicionamento dos <i>landmarks</i>	33

3.14	Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.	36
3.14	Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.	37
3.14	Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.	38
3.14	Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.	39
3.14	Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.	40
3.14	Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.	41
3.14	Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.	42
4.1	Matriz de confusão das respostas obtidas. Em negritos estão indicadas as taxas de correspondência das emoções esperadas.	46
4.2	Coerência das respostas referentes às imagens duplicadas. . . .	49

Capítulo 1

Introdução

A comunicação de uma emoção pode ser estabelecida por meio verbal (SCHE-RER, 2003) e também por meios não verbais como expressões faciais, posturas e gestos. A comunicação efetiva de uma emoção é benéfica tanto para quem está se comunicando quanto para quem está tentando compreender (HESS, 2001).

A capacidade de processar e identificar emoções faciais é um componente essencial da comunicação humana e interação social de acordo com as normas e costumes culturais, baseadas em padrões comuns. Seis emoções universais já foram estabelecidas, incluindo, satisfação, tristeza, raiva, aversão-nojo, medo e surpresa, cada uma das quais corresponde a um padrão específico dos músculos da face e tem neurocircuitos parcialmente separáveis, capazes de preparar uma resposta comportamental apropriada (EKMAN; FRIESEN, 1971; ROCCA et al., 2009; GOSSELIN; KIROUAC et al., 1995).

Segundo a revisão de Rocca et al. (2009) o processamento de expressões faciais das emoções, que varia de interpretação do estímulo para a preparação de uma resposta comportamental apropriada, é apoiado por sistemas neurais específicos. Estudos de imagens cerebrais sugerem que regiões específicas no córtex temporal inferior medeiam a percepção de faces. Doenças distintas podem se caracterizar por déficits diferentes em aspectos específicos do processamento emocional. Por exemplo, pacientes com doença de Urbach-Wiethe, que causa dano bilateral na amígdala, são incapazes de distinguir medo tanto em faces reais como imaginárias, nos transtornos psiquiátricos, o paradigma de reconhecimento de faces vem recebendo maior atenção especialmente nos transtornos do espectro autista (HARMS; MARTIN; WALLACE, 2010), transtornos do humor (ROCCA et al., 2009) e na esquizofrenia (TAYLOR; MACDONALD, 2012). Estudos mais recentes vêm inclusive avaliando a possibilidade de reconhecimento de padrões em populações de risco para transtornos mentais (MOURÃO-MIRANDA et al., 2012). Portanto, o para-

digma de reconhecimento de expressões faciais pode ser desenvolvido como uma ferramenta na avaliação de transtornos mentais. Assim uma ferramenta capaz de melhorar as habilidades de reconhecimento das expressões faciais pode ser de grande utilidade.

Estudos sugerem que indivíduos portadores de transtornos do espectro autista apresentam dificuldades na interação e comunicação social (NEWS-CHAFFER; CURRAN, 2003), incluindo a habilidade de identificar a expressão facial das emoções em outras pessoas (CLARK; WINKIELMAN; MCINTOSH, 2008). O uso de ambientes de realidade virtual, de expressões 3D em ambiente multimídia interativo e de software de treinamento utilizando interface humano-computador apresentou respostas positivas no que se refere à melhora desses aspectos em indivíduos do espectro autista (LAHIRI et al., 2013; CHENG; LING, 2008; GRZYNSZPAN; MARTIN; NADEL, 2008).

Com esta motivação, a presente proposta faz parte de um projeto de pesquisa mais abrangente que visa a desenvolver um jogo de reconhecimento de expressões faciais que possa ser explorado no campo de pesquisa dos transtornos mentais. Em uma versão inicial deste jogo, imagens estáticas de várias emoções devem ser geradas e mostradas ao jogador, que deve adivinhar qual é a emoção descrita naquela imagem. Posteriormente o jogador deverá identificar mudanças emocionais ocorrendo dinamicamente (progressivamente) na imagem. Também será de interesse selecionar, dependendo do perfil do jogador, características das imagens (ou seja, do personagem) do jogo, como sexo, idade e grupo étnico. Sendo assim, grande parte do desafio computacional da implementação deste jogo reside na geração destas imagens.

1.1 Objetivos

O presente projeto faz parte de um projeto maior, cujo objetivo é utilizar técnicas gramaticais e de processamento de imagens para gerar, em um primeiro momento, imagens (caricaturas) das emoções neutra, satisfação, tristeza, raiva, aversão, medo e surpresa. Com intuito de gerar imagens consistentes com uma face humana, estas serão baseadas em medidas antropométricas. O projeto é composto por duas partes. A primeira parte, com ênfase na parte gramatical, consiste na implementação da estrutura de dados de grafos AND-OR (ZHU; MUMFORD, 2007a) e a definição do grafo AND-OR (símbolos terminais e não terminais, relações, etc) para as várias emoções. A segunda parte, com ênfase em processamento de imagens, consiste na definição de pontos de controle para os vários componentes de face e implementação de um programa capaz de, a partir do grafo AND-OR definido na primeira parte, gerar as imagens utilizando técnicas de processamento de

imagens. O objetivo do projeto desta iniciação científica, ou seja, do aluno em questão, é a realização da parte dois, orientado pela Profa. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes, especialista em processamento de imagens. A parte um está sendo realizada por outro aluno sob a supervisão da Profa. Ariane Machado Lima, especialista em gramáticas.

O presente capítulo apresenta uma introdução ao tema, justificando o trabalho e apresentando os objetivos. O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos sobre geração de imagens, antropometria, expressões faciais e gramáticas, além de expor os trabalhos correlatos. Já o capítulo 3 mostra como as medidas antropométricas foram utilizadas na geração da face e como os conceitos da psicologia e de traçado de curvas (computação gráfica) foram empregados para representar as expressões faciais, também trata da integração com a gramática e forma de avaliação dos resultados. O capítulo 4 expõe as imagens e resultados obtidos da metodologia em questão. O capítulo 5 apresenta uma discussão sobre a abordagem adotada

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

Neste capítulo são apresentados os conceitos referentes às áreas que compõem o tema deste projeto.

2.1 Antropometria

Antropometria é a ciência que estuda as medidas de tamanho, peso e proporções do corpo humano (FARKAS, 1994); é um método de análise obtido por meio da mensuração da população estudada. Essas medidas podem ser utilizadas na medicina na análise de irregularidades em pacientes e o planejamento de cirurgias plásticas (FARKAS, 1981), antropologia forense (KRISHAN, 2007) e no envelhecimento de imagens de faces (RAMANATHAN; CHELLAPPA; BISWAS, 2009). Esta proposta utiliza as medidas antropométricas para a geração de *sketchs* que representem faces.

Para a realização das medições foi determinado um conjunto de pontos bem definidos sobre o corpo humano, chamados de *landmarks*. Por exemplo, no caso da face o ponto denominado *sn* indica o local abaixo do nariz, como ilustrado na Figura 2.1. Assim, a distância entre dois *landmarks* irá compor uma medida.

Essas distâncias podem ser dos seguintes tipos:

- menor distância entre dois *landmarks*, exemplo: *en-ex* na Figura 2.2;
- distância axial entre dois *landmarks*, exemplo: *v-tr* na Figura 2.2;
- distância geodésica entre dois *landmarks*, exemplo: *ch-t* na Figura 2.2;
- ângulo de inclinação formado de um *landmark* em relação aos eixos canônicos, exemplo: ângulo na orelha na Figura 2.2.

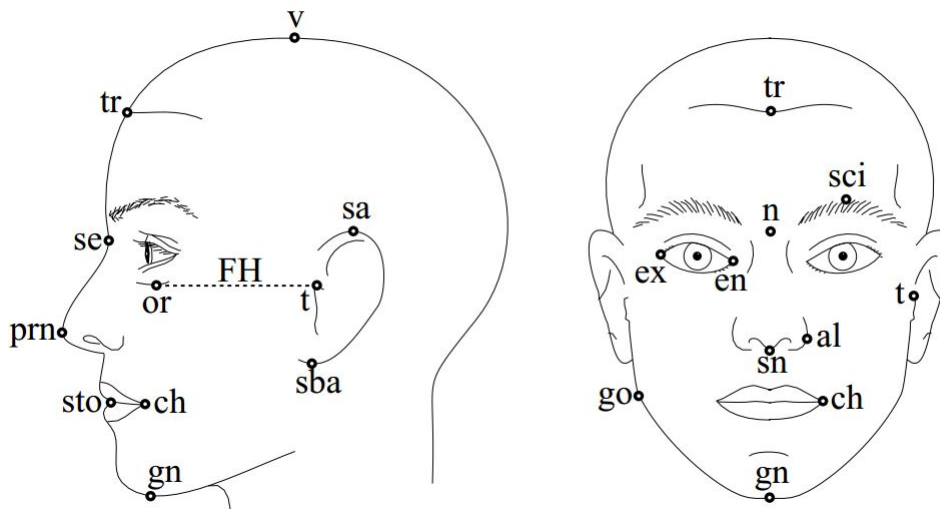


Figura 2.1: *Landmarks* antropométricos faciais. (FARKAS, 1994)

- ângulo entre retas definidas por *landmarks*, exemplo: ângulo no queixo na Figura 2.2.

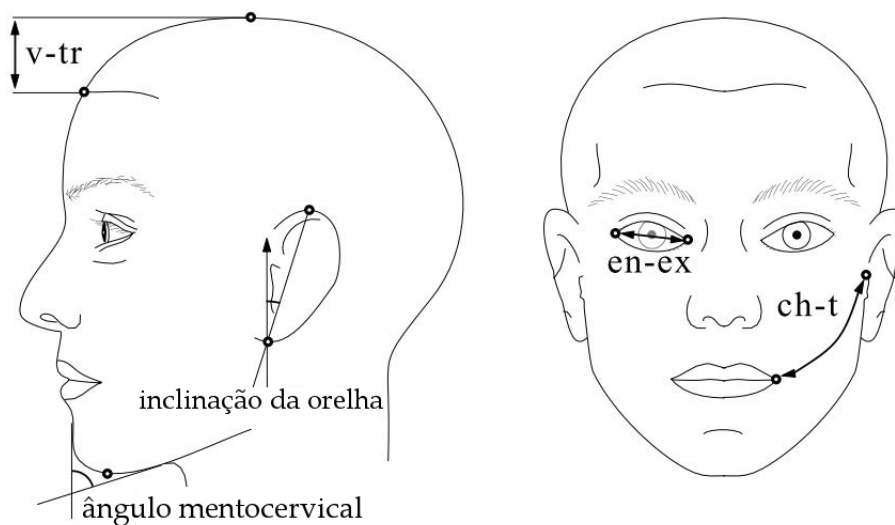


Figura 2.2: Medições antropométricas faciais. (FARKAS, 1994)

Existem fatores que podem influenciar nas variações dessas medidas como, por exemplo, as diferenças naturais entre os grupos étnicos (FARKAS; KATIC; FORREST, 2005), os gêneros (WEEDEN; TROTMAN; FARAWAY, 2001), as faixas etárias (PERISSINOTTO et al., 2002), e os tipos faciais (longo, médio, curto) (GUEDES; TEIXEIRA; CATTONI, 2010), etc.

2.2 Expressões faciais

Com base na universalidade das expressões faciais e na representação das emoções pelas mesmas, foram definidas técnicas que permitissem relacionar as medidas dos movimentos faciais com as expressões geradas. Ekman e Friesen (1976) formulam uma maneira de medir os movimentos faciais. Para isso, definiram unidades de ação (*action units*) como ações fundamentais (mínimas) de um músculo ou um grupo de músculos. Por meio das unidades de ação é possível constituir qualquer comportamento facial. Assim, pode-se compor uma expressão facial como uma combinação dessas unidades de ações.

Essas ideias foram utilizadas para a elaboração de uma metodologia denominada *Facial Action Coding System (FACS)*, capaz de classificar expressões faciais com base na identificação da presença de determinadas unidades de ação presentes no rosto (EKMAN; FRIESEN, 1978).

A fim de ilustrar as unidades de ação, a Figura 2.3 mostra as unidades de ação 1, 2 e 4. Na unidade de ação 1 (Figura 2.3(a)) os cantos internos das sobrancelhas estão erguidos; na UA 2 (Figura 2.3(b)) as partes externas das sobrancelhas estão levantadas e na UA 4 (Figure 2.3(c)) as sobrancelhas estão unidas.

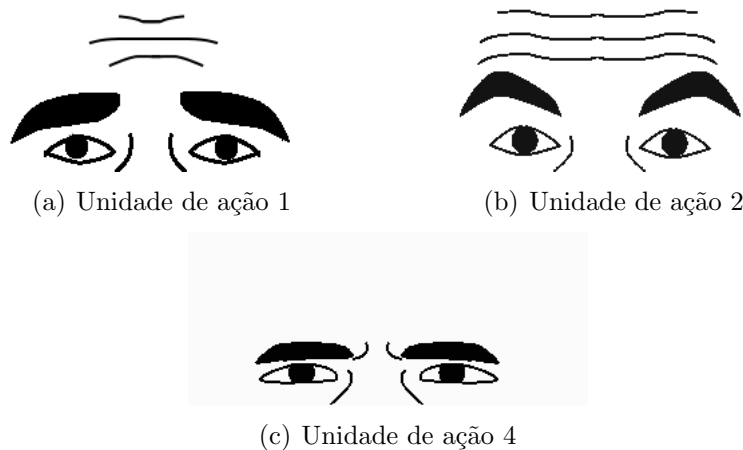


Figura 2.3: Exemplos das unidades de ação 1, 2 e 4.

A Tabela 2.1 contém uma descrição textual do movimento e da aparência gerada por cada unidade de ação relevante. Embora as unidades de ação sejam consideradas de forma independente, a combinação de algumas delas pode causar um resultado diferente daquele obtido por meio da simples junção das unidades de ação. Isto ocorre porque um músculo acaba exercendo

influência no outro.

Tabela 2.1: Descrições da aparência de cada unidade de ação baseados em (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)

Unidade de ação	Nome	Descrição
1	Inner Brow Raiser	Eleva os cantos internos da sobrancelha
		Pode causar enrugamento horizontal na testa
2	Outer Brow Raiser	Eleva a porção exterior das sobrancelhas
		Produz uma forma arqueada para as sobrancelhas
		Permite gerar rugas laterais entre as sobrancelhas
4	Brow Lowerer	Diminui a sobrancelha
		Empurra as pálpebras estreitando a altura dos olhos
		Aproxima as sobrancelhas
		Produz rugas verticais entre as sobrancelhas
		Pode produzir um enrugamento do nariz
5	Upper Lid Raiser	Amplia a abertura dos olhos
		Eleva a pálpebra superior sem que ela desapareça por completo
		Permite expor esclera por cima da íris
		Apresenta um olhar fixo
		Amplia pálpebra inferior
6	Cheek Raiser and Lid Compressor	Puxa as bochechas em direção aos olhos
		Empurra a pele ao redor dos olhos em direção à cavidade ocular
		Aprofunda o sulco da pálpebra inferior
		Pode diminuir porção lateral das sobrancelhas
		Provoca rugas nos cantos externos da abertura dos olhos (Pés de galinha)
7	Lid Tightener	Aperta as pálpebras
		Diminui a abertura dos olhos
		Eleva a pálpebra inferior
		Pode causar rugas nos olhos

Tabela 2.1: Descrições da aparência de cada unidade de ação baseados em (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)

Unidade de ação	Nome	Descrição
9	Nose Wrinkler	Puxa a pele do nariz, causando rugas laterais
		Reduz a parte medial das sobrancelhas
		Limita a abertura dos olhos
		Puxa o centro do lábio superior para cima
12	Lip Corner Puller	Pode ampliar e levantar as narinas
		Puxa os cantos dos lábios para trás e para cima, de forma oblíqua
		Aprofunda o sulco nasogeniano, puxando-o lateralmente e para cima
		Pode limitar a abertura dos olhos
15	Lip Corner Depressor	Pode aumentar e alargar as narinas
		Pode achatam e esticar a pele do queixo
		Puxa os cantos dos lábios para baixo
		O lábio inferior é ligeiramente esticado horizontalmente
16+25	Lower Lip Depressor	Pode produzir enrugamentos nos cantos dos lábios
		Pode achatam / produzir uma depressão no queixo
		Puxa o lábio inferior para baixo
		Esticam os lábios lateralmente
20	Lip Stretcher	Normalmente expõe mais os dentes
		Estica o queixo
		Pode causar rugas no queixo ou no lábio inferior
		Puxa a porção inferior do sulco nasolabial, e puxa a pele na área inferior do sulco nasolabiais lateralmente

Tabela 2.1: Descrições da aparência de cada unidade de ação baseados em (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)

Unidade de ação	Nome	Descrição
20	Lip Stretcher	Estica lateralmente a pele do queixo
		Podem alongar a abertura das narinas
23	Lip Tightener	Estreita os lábios
		Podem haver uma leve separação dos lábios
		Podem produzir enrugamento dos lábios
25	Lips Part	Expõe uma parte da mucosa da boca
		Podem expor os dentes
26	Jaw Drop	A mandíbula é abaixada
		Podem separar os lábios a fim de expor os dentes

A Tabela 2.2 mostra uma possível combinação das unidades de ação que compõem cada expressão facial correspondente a uma emoção.

Tabela 2.2: Relação entre unidades de ação e as emoções. Adaptada de (EKMAN; FRIESEN; HAGER, 2002)

Emoções	Unidades de ação
Satisfação	6+12
Tristeza	1+4+15
Surpresa	1+2+5B+26
Medo	1+2+4+5+20+26
Raiva	4+5+7+23
Aversão (Nojo)	9+15+16+25

2.3 Gramáticas

A descrição de uma face pode ser feita como uma composição hierárquica multinível (olhos, boca, nariz, etc., que, por sua vez, são compostos por outros elementos mais simples – olho, por exemplo, é composto por contorno, sobrancelhas, cílios, íris, etc.). Além disso, regras definem diferentes tipos de elementos (exemplo: olho cerrado ou aberto) relacionados de diferentes maneiras (exemplo: distância entre as sobrancelhas) dependendo da emoção. Sendo assim, as diferentes faces para as várias emoções podem ser descritas

por meio de gramáticas, mais especificamente grafos AND-OR.

Um grafo AND-OR é uma sêxtupla que representa uma gramática de imagem $G = \langle S, V_T, V_N, R, C, P \rangle$, em que S é o símbolo inicial da gramática, V_T representa os nós terminais, V_N representa o conjunto de nós não terminais, R é o conjunto de regras ou produções, C é o conjunto de todas as configurações válidas que podem ser derivadas de G e P representa o modelo de probabilidade definido em G (LIN et al., 2009). Graficamente, essa gramática é descrita por um grafo AND-OR no qual o nó raiz representa o símbolo inicial e os nós folhas representam símbolos terminais, os nós internos representam os símbolos não terminais e as arestas verticais estão relacionadas às produções: os filhos de um nó OR indicam todas as produções possíveis para um mesmo símbolo não-terminal; e os filhos de um nó AND indicam todos os símbolos que são gerados por uma determinada produção (ZHU; MUMFORD, 2007b).

Gramáticas e grafos AND-OR já vêm sendo bastante utilizados em reconhecimento de padrões em imagens. O problema de geração de imagens utilizando gramáticas é menos explorado, e até o momento gramáticas paralelas (*L-systems*) (ROZENBERG; SALOMAA, 2001) é a forma de gramática mais utilizada. No entanto, este tipo de gramática é mais adequado para desenho de estruturas recursivas, como fractais. Acreditamos que, para o problema descrito neste projeto, grafos AND-OR são mais adequados.

Diferentemente de uma árvore, um grafo AND-OR não é necessariamente acíclico. De uma forma geral, os ciclos costumam ocorrer quando um nó possui mais de um nó pai ou quando existem arestas horizontais indicando relações entre nós de um mesmo nível.

No subgrafo referente aos ponteiros do relógio exibido na Figura 2.4, nota-se que ambos os nós AND “3 hands” e “2 hands” são pais dos nós OR “Hour hand” e “Minute hand”, pois os ponteiros das horas e dos minutos estão presentes nos dois tipos de arranjo de ponteiros. Ainda na Figura 2.4, as linhas horizontais tracejadas que ligam diversos nós do grafo indicam relações entre eles. Essas relações podem indicar distância, adjacência, oclusão, paralelismo, perpendicularidade, concêntrica, etc. entre dois nós (XU et al., 2008; ZHU; MUMFORD, 2007b).

A base para essas estruturas são os modelos gráficos conhecidos como campos aleatórios de Markov (JR; HART, 1971), que representam a estrutura de dependências entre um conjunto de variáveis aleatórias. Esse modelo gráfico é apropriado para imagens compostas por objetos que se relacionam, pois a direção da dependência é desconhecida ou irrelevante. Por esse motivo, não são suportadas dependências indiretas, portanto todas as relações entre objetos devem ser declaradas explicitamente por meio de arestas (JR; HART, 1971; ZHU; MUMFORD, 2007b).

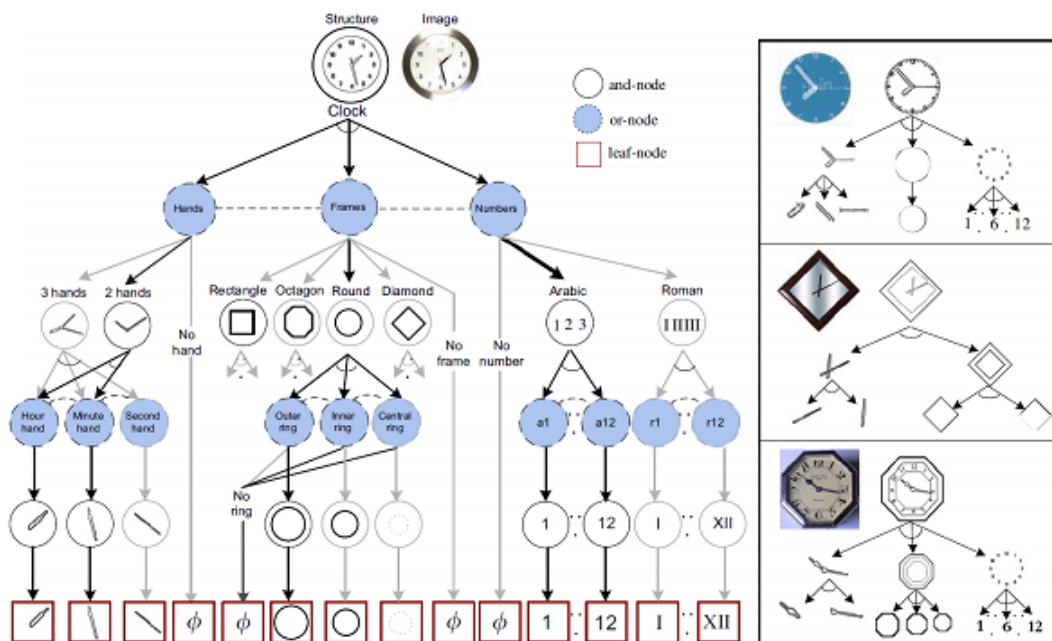


Figura 2.4: *Exemplo de grafo AND-OR de relógios de parede.* A imagem ilustra a estrutura geral do grafo e grafos sintáticos de exemplos de relógios. Fonte: (LIN et al., 2009).

As arestas horizontais acrescentam, portanto, informação de contexto entre os nós, tornando a gramática sensível ao contexto. Assim, um grafo AND-OR é uma união de uma árvore AND-OR, que provê a estrutura hierárquica, e um grafo de relações, que adiciona contexto à estrutura. As relações expandem a capacidade representativa dos grafos AND-OR em relação às árvores, permitindo que não apenas gramáticas livres de contexto, mas também gramáticas sensíveis ao contexto sejam descritas (XU et al., 2008; ZHU; MUMFORD, 2007b).

2.4 Geração de imagens

Uma imagem digital é uma representação do objeto físico que pode ser armazenada, manipulada e interpretada de acordo com as necessidades do interessado. Matematicamente, uma imagem pode ser descrita como uma função da intensidade do sinal retornado por um sensor. Em imagens digitais, considerando o domínio espacial, esta função pode ser representada por um vetor de valores discretos (GONZALEZ; WOODS; EDDINS, 2009).

O objetivo de definir matematicamente a imagem é a possibilidade de

manipular o seu conteúdo a fim de transformá-la ou retirar dela informações importantes. Ao vasto conjunto de operações que pode-se aplicar no vetor que representa uma imagem denominamos processamento de imagem.

Spline é um conceito que define uma tira flexível usada para produzir suavização da curva por meio de pontos de controle (FOLEY, 1996), ou seja, um conjunto de pontos irá indicar o formato da curva. Existem duas maneiras de implementação de *splines*: a interpolação e a aproximação. Na primeira, a curva deve passar pelos pontos de controle, já a segunda não há uma necessidade disso ocorrer.

Em um *spline*, quanto maior o grau do polinômio, mais flexibilidade a curva ganha, porém a quantidade de cálculos necessários para o traçado da curva também aumenta. A elevação na quantidade de pontos de uma dada curva irá acrescentar complexidade no polinômio que a determina. Para contornar esse problema utilizam-se seções (pequenas regiões) com polinômios de graus menores na composição dessas curvas, sendo necessário apenas fazer uma simples junção das extremidades de cada curva.

A definição, modificação e manipulação das curvas *splines* são realizadas com operações em seus pontos de controle. Assim, a reestruturação da forma da curva ocorre com o reposicionamento de algum ou todos pontos de controle (FOLEY, 1996). A Figura 2.5 mostra a influência da alteração no posicionamento dos pontos de controle.

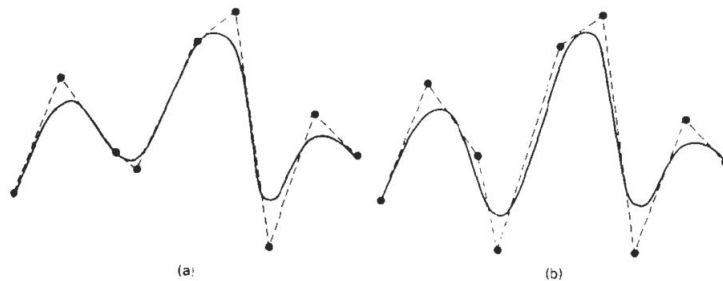


Figura 2.5: Exemplos de modificação nos pontos de controle em *b-splines*. Retirado de (FOLEY, 1996)

2.5 Trabalhos correlatos

Yang et al. (2009) apresenta um sistema interativo para manipulação de expressões faciais em *sketchs*. Primeiramente construiu-se um banco de dados contendo os posicionamentos de cada ponto rastreado com base nos vídeos de

entrada. Então, a partir de vídeos contendo a movimentação foram adicionados os dados relativos a movimentos. Com esse banco de dados construído foram sorteadas as medidas que compõem a face inicial. Por fim, o usuário desloca um ponto de controle de uma das curvas, e a partir dessa manipulação o sistema propaga o movimento de acordo com o banco de dados. Esse processo é ilustrado na Figura 2.6.

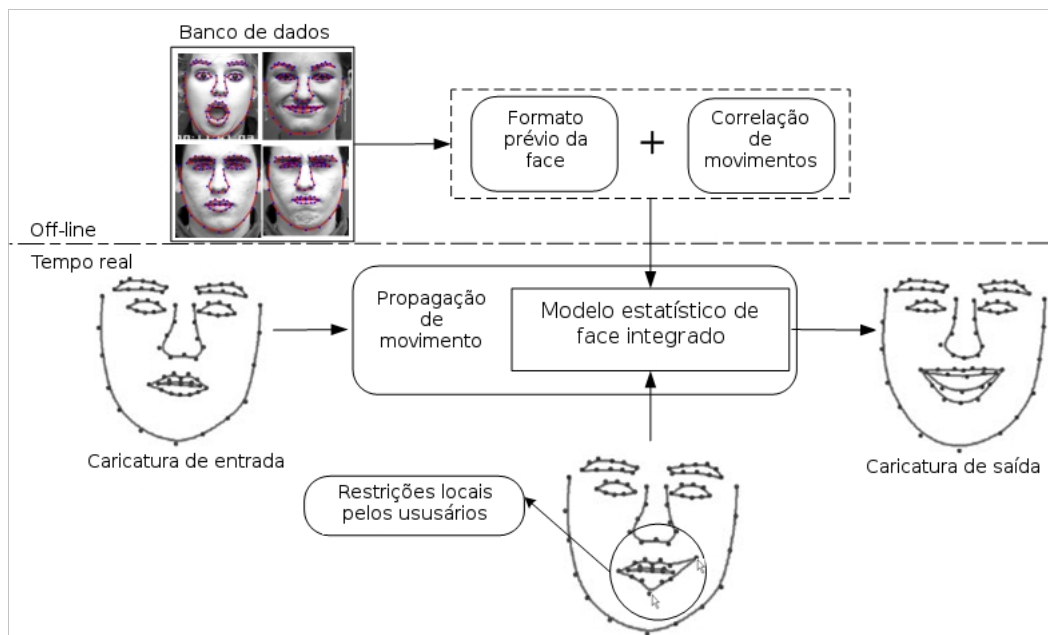


Figura 2.6: Funcionamento do sistema. Adaptado de (YANG et al., 2009)

Em (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998) é proposto um método para variação nos modelos utilizando medidas antropométricas. Primeiramente são sorteadas medidas antropométricas que compoem o modelo facial. Depois, essas medidas são adaptadas para seguirem o modelo de restrição da superfície. Assim consegue-se gerar uma série de modelos variados, como pode ser visto na Figura 2.7.



Figura 2.7: Modelos masculinos variados (DECARLO; METAXAS; STONE, 1998)

Capítulo 3

Metodologia

As caricaturas para representar as emoções faciais foram construídas considerando que cada parte do rosto é composto por curvas *spline*. As medidas antropométricas foram empregadas para definir a dimensão de cada curva e o posicionamento correto dos seus pontos de controle. A quantidade de curvas e o posicionamento das mesmas para compor uma face inicial neutra foram definidos com base nas descrições das unidades de ação (*FACS*). Os conceitos de *FACS* também foram empregados para reposicionar os pontos de controle das curvas conforme a emoção. Esse modelo contendo um conjunto de curvas é armazenado e representado pela gramática. A partir da representação desenham-se as curvas *splines* para reproduzir as expressões faciais desejadas. Esse esquema é representado na Figura 3.1

3.1 Representação da face

A representação da face foi realizada por meio da construção de um modelo antropométrico. Esse modelo deixou de ser parte integrante do programa de síntese de expressões faciais para integrar a gramática. Esta escolha permite mais flexibilidade do modelo, como discutido na seção 3.4.

3.1.1 Modelo antropométrico

As medidas antropométricas variam de acordo com o grupo étnico e a idade dos indivíduos. Para constituição do modelo antropométrico foram considerados os dados para uma população composta de indivíduos caucasianos norte-americanos saudáveis na faixa etária de 19-25 anos, idade na qual ocorre a estabilização das medidas para adultos (FARKAS, 1994).

As medidas antropométricas referem-se às distâncias entre os *landmarks*

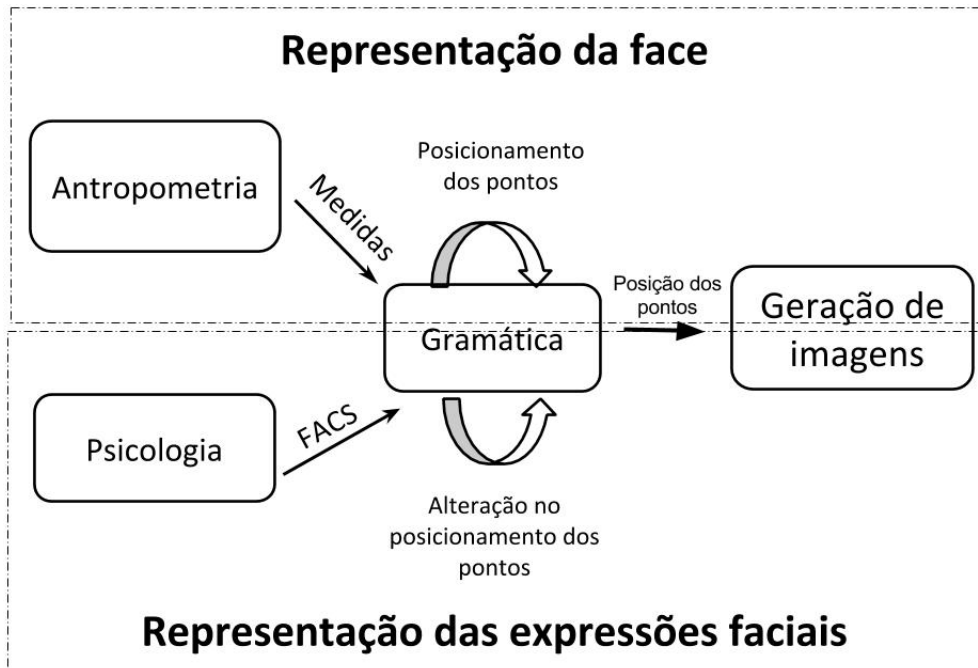


Figura 3.1: Esquematização da metodologia.

e não às posições dos mesmos. Portanto, a fim de desenhar uma face neutra inicial, foi necessário calcular o posicionamento de cada um desses pontos no espaço bidimensional da imagem com base nas relações de distância entre dois pontos, fornecidas pelas mensurações antropométricas. Finalmente, os *landmarks* foram utilizados na definição dos pontos de controle que compõem as curvas que formam cada parte do rosto.

Das medidas descritas na seção 2.1 foram utilizadas as medidas de menor distância entre dois pontos, primeiramente porque são as que contêm o maior número de dados antropométricos, e também por serem as distâncias que melhor se enquadram em um espaço bidimensional.

Vários dos pontos definidos neste trabalho não possuem *landmarks* equivalentes na antropometria. Para definir a posição desses pontos foi necessário fazer uma aproximação com base nas medidas antropométricas disponíveis, considerando também a simetria da face. Isto pode ser exemplificado com a definição do ponto $p1$ (Figura 3.2). Como a sobrancelha segue a linha do olho, a coordenada x (posicionamento horizontal) foi definida como sendo a mesma linha do ponto en . Uma descrição mais detalhada para cada ponto é

encontrada na Tabela 3.1

Tabela 3.1: Inferências feitas a partir da antropometria.

Parte do Rosto	Pontos	Considerado
Sobrancelha	$p1$ e $p2$	A distância entre as extremidades das duas sobrancelhas é média da diferença de ex_{ex} e ft_{ft}
		A distância entre as extremidades internas das sobrancelhas é igual a en
	os	O nível mais baixo da sobrancelha tem a mesma altura que n
Olho	ps e pi	Ficam na metade da distância de en_{ex}
	ex e en	Ficam na mesma altura
Pálpebra inferior	$pp1$	Fica logo abaixo de en
	$pp2$	Fica a 90% de en_{ex} em relação a en
	$pp1$ e $pp2$	Ficam a 15% de pi_{or} em relação a pi
Nariz	n	Fica na metade de en_{en}
	mf	Fica 5% de n_{sn} abaixo do olho (en)
	al	Fica 90% de n_{sn} abaixo de n
Lábios	ls e sto	Ficam na mesma linha vertical que n
Enrugamento do olho	$po1_{po3}$, $po4_{po6}$ e $po7_{po9}$	As rugas possuem em média 2 mm
	$po1_{po3}$, $po4_{po6}$ e $po7_{po9}$	As rugas esticam até 2+1 mm
	$po4$	$po4$ fica na altura de ex
	$po1$	$po1$ fica 1mm acima de $po4$
	$po9$	$po9$ fica 1mm abaixo de $po4$
Enrugamento da testa	$pt3$	Fica no meio de ft_{ft} e tr_g (no meio da testa)
	$pt1$	Fica na mesma posição que ft (no final da testa)
	$pt2$	Fica à um quarto a esquerda de ft_{ft} e tr_g (um quarto da testa)

Tabela 3.1: Inferências feitas a partir da antropometria.

Parte do Rosto	Pontos	Considerado
Enrugamento da testa	$pt4$	Fica a um quarto a direita de ft_ft e tr_g (um quarto da testa)
	$pt5$	Fica na mesma posição que $ft(d)$ (no final da testa)
	$pt3(c)$	Fica a 25% de tr_g em relação a tr
	$pt3(b)$	Fica a 75% de tr_g em relação a tr
Contorno	zy	Possui o mesmo posicionamento vertical que or
	eu	Possui o mesmo posicionamento vertical que tr
	gn, tr e v	Possui o mesmo posicionamento horizontal que n
	t	Possui o posicionamento vertical na metade de pi_or
Auxiliares	n	Fica na metade da distância de en_en e mf_mf
	se	Fica na mesma linha que n

Além deste ponto, os pontos $p2$ da sobrancelha, $pas1$ e $pas2$ da pálpebra inferior, bem como os pontos do enrugamento não apresentam nenhuma descrição pela antropometria e, por isso, foram inferidos com base em outras medidas antropométricas para que fosse possível a representação de suas curvas.

Para o cálculo das posições dos pontos, primeiramente definiu-se um ponto inicial, o *landmark* v , no qual são baseados os demais pontos. O ponto v se posiciona bem no topo da cabeça e foi definido como sendo a extremidade superior e o centro vertical da imagem (Figura 3.2).

Para mostrar como é computada a posição de um dado ponto pode-se observar o ponto sn , desenhado na parte inferior do nariz. Sua coordenada y (posicionamento vertical) foi definida com o valor da coordenada y (posicionamento vertical) do ponto n somado à mensuração antropométrica $n-sn$. Sua coordenada x (posicionamento horizontal) é igual à coordenada x (posicionamento horizontal) de n . Dessa forma, são definidos todos os pontos de controle de todas as curvas que formam o rosto.

As Tabelas 3.2 a 3.13 expõem os cálculos das posições de cada *landmark* com base nas distâncias entre os pontos descritos pela antropometria. O posicionamento de um *landmark* é definido de acordo com as medidas antro-

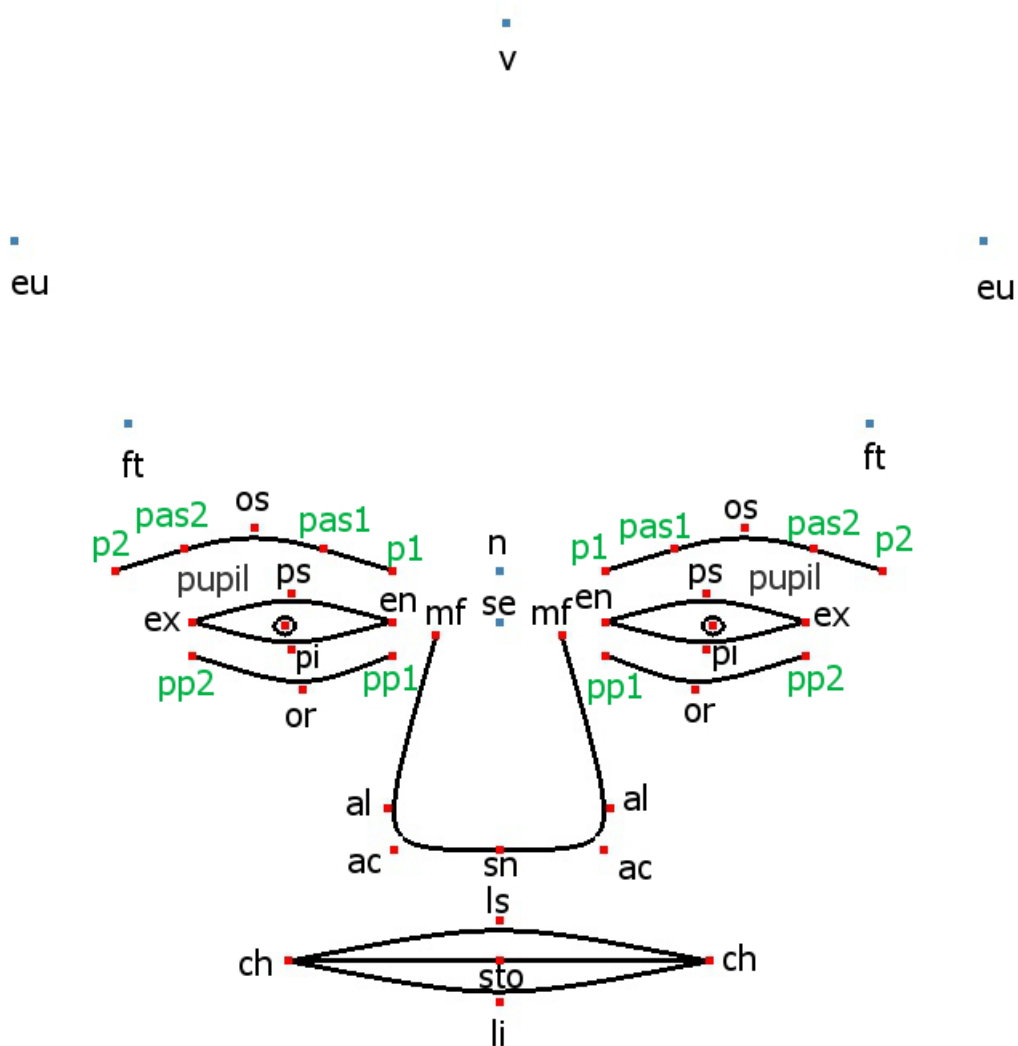


Figura 3.2: *Landmarks* utilizados para a construção dos *sketchs*. As marcações em vermelho representam os pontos de controle utilizados nas curvas, e as marcações em azul são pontos empregados como auxiliares para posicionamento de outros pontos de controle. Além disso, foram criados pontos com letras verdes para construir as curvas.

pométricas e a posição de outros pontos da antropometria. A distância entre dois pontos é denotada pelo símbolo: traço inferior (-). Deste modo se um traço inferior está entre dois pontos, significa que está sendo considerada a distância entre esses dois pontos. Por exemplo, $ps_{-}pi$ indica a distância entre os *landmarks* ps e pi .

A equação 3.1 mostra como é calculada a posição de cada ponto de acordo

com os dados obtidos pela antropometria. Aonde $P1$ é o posicionamento do ponto a se calculado; $P2$ e $P3$ são as posições de outros dois *landmarks* que tomamos como base; α é uma porcentagem e $P2-P3$ representa a distância entre os pontos.

$$P1 = P2 + \alpha \cdot |P2 - P3| \quad (3.1)$$

O posicionamento de um ponto é relativo à posição de outro somada a distância entre eles; caso essa distância seja uma parte da distância total o elemento porcentagem estará entre zero e um, representado a porcentagem da distância total; caso contrário será um para representar a distância total.

A seguir há uma descrição da construção de cada parte do rosto representada. Para cada parte são apresentados uma tabela com os cálculos do posicionamento horizontal (para X) e vertical (para Y).

Olhos

Cada olho é composto por duas curvas de três pontos: uma superior (*en-ps-ex*) e outra inferior (*en-pi-ex*), como mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para os olhos.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Olho esquerdo	en	$n-0,5 \cdot (en_en)$	$n+v_en-v_n$
	ex	$n-0,5 \cdot 2.5cm \cdot (en_en)-ex_en$	$n+v_en-v_n$
	ps	$en-0,5 \cdot (ex_en)$	$en-0,5 \cdot (ps_pi)$
	pi	$en-0,5 \cdot (ex_en)$	$en+0,5 \cdot (ps_pi)$
Olho direito	en	$n+0,5 \cdot (en_en)$	$n+v_en-v_n$
	ex	$n+0,5 \cdot (en_en)ex_en$	$n+v_en-v_n$
	ps	$en+0,5 \cdot (ex_en)$	$en-0,5 \cdot (ps_pi)$
	pi	$en+0,5 \cdot (ex_en)$	$en+0,5 \cdot (ps_pi)$

Sobrancelhas

A sobrancelha direita é construída com os pontos *pas1*, *os* e *pas2*. E três pontos simétricos são usados para desenhar a sobrancelha esquerda (*pp1-os-pp2*), como mostrado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para sobrançelha.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Sobrançelha esquerda	pas1	en	n
	os	$p1 - 0,5 \cdot (p1 + p2)$	$n + g_{sn} - n_{sn}$
	pas2	$en + 0,5 \cdot (ft_{ft} - ex_{ex})$	n
Sobrançelha direita	pas1	en	n
	os	$p1 + 0,5 \cdot (p1 + p2)$	$n + g_{sn} - n_{sn}$
	pas2	$en - 0,5 \cdot (ft_{ft} - ex_{ex})$	n

Pálpebras

As pálpebras são formadas por três pontos: *pp1*, *or* e *pp2*. Cada posição dessas varia conforme o lado esquerdo e direito do rosto, como mostrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para as pálpebras.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Pálpebra inferior esquerda	pp1	en	$pi + 0,15 \cdot (pi_{or})$
	or	$en - 0,5 \cdot ex_{en}$	$pi + pi_{or}$
	pp2	$en - ex_{en}$	$pi + 0,15 \cdot (pi_{or})$
Pálpebra inferior direita	pp1	en	$pi + 0,15 \cdot (pi_{or})$
	or	$en + 0,5 \cdot ex_{en}$	$pi + pi_{or}$
	pp2	$en + ex_{en}$	$pi + 0,15 \cdot (pi_{or})$

Nariz

O nariz é constituído de duas curvas simétricas interligadas, uma do lado esquerdo com os pontos *mf(e)*, *al(e)*, *ac(e)* e *sn* e outra do lado direito com os pontos *mf(d)*, *al(d)*, *ac(d)* e *sn*, como mostrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para o nariz.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Nariz	mf(e)	$n-0,5 \cdot mf_mf$	$n+0,5 \cdot n_sn$
	mf(d)	$n+0,5 \cdot mf_mf$	$n+0,5 \cdot n_sn$
	al(e)	$n-0,5 \cdot al_al$	$n+0,85 \cdot n_sn$
	al(d)	$n+0,5 \cdot al_al$	$n+0,85 \cdot n_sn$
	ac(e)	$n-0,5 \cdot ac_ac$	$n+n_sn$
	ac(d)	$n+0,5 \cdot ac_ac$	$n+n_sn$
	sn	n	$n+n_sn$

Lábios

Cada lábio contém duas curvas com três pontos. Para o lábio superior as curvas são $ch(e)-ls-ch(d)$ e $ch(e)-sto-ch(d)$. Já para o direito são $ch(e)-sto-ch(d)$ e $ch(e)-li-ch(d)$. Deve-se atentar que duas curvas são repetidas para permitir a abertura dos lábios, como mostrado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para os lábios.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Lábios	ls	n	$N+n_sto-ls_sto$
	sto	n	$ls+ls_sto$
	li	n	$ls+2 \cdot ls_sto$
	ch(e)	$n-ch_sto$	$ls+ls_sto$
	ch(d)	$n+ch_sto$	$ls+ls_sto$

Pupila

As pupilas são embasadas em circunferências conforme uma posição inicial e um raio, como mostrado na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para as pupilas.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Pupila esquerda	pupil	se-pupil_se	or+pupil_or
	raio	$0,4 \cdot ps_pi$	
Pupila direita	pupil	se+pupil_se	or+pupil_or
	raio	$0,4 \cdot ps_pi$	

Enrugamento dos cantos externos do olhos

As rugas nos cantos externos dos olhos foram desenhadas utilizando três curvas com três pontos, como mostrado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para os enrugamentos dos olhos.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Enrugamento do olho esquerdo	po1	po4	po4-2
	po2	po5	po1-2
	po3	po6	po2-2
	po4	en-2	en
	po5	po4-2	po4
	po6	po5-2	po4
	po7	po4	po4+2
	po8	po5	po7+2
	po9	po6	po8+2
Enrugamento do olho direito	po1	po4	po4-2
	po2	po5	po1-2
	po3	po6	po2-2
	po4	en+2	en
	po5	po4-2	po4
	po6	po5-2	po4
	po7	po4	po4+2
	po8	po5	po7+2
	po9	po6	po8+2

Enrugamento da testa

As rugas na testa foram desenhadas utilizando três curvas com cinco pontos, como mostrado na Tabela 3.9.

Tabela 3.9: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para enrugamento da testa.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Enrugamento da testa	pt1(c)	$pt3(c) - (0.5 \cdot ft_ft)$	pt3(c)
	pt2(c)	$pt3(c) - (0.25 \cdot ft_ft)$	$pt3(c) + (0.1 \cdot tr_g)$
	pt3(c)	n	$tre + (0.5 \cdot tr_g)$
	pt4(c)	$pt3(c) + (0.25 \cdot ft_ft)$	$pt3(c) + (0.1 \cdot tr_g)$
	pt5(c)	$pt3(c) + (0.5 \cdot ft_ft)$	pt3(c)
	pt1(m)	$pt3(m) - (0.5 \cdot ft_ft)$	pt3(m)
	pt2(m)	$pt3(m) - (0.25 \cdot ft_ft)$	$pt3(m) + (0.1 \cdot tr_g)$
	pt3(m)	n	$tre + (0.5 \cdot tr_g)$
	pt4(m)	$pt3(m) + (0.25 \cdot ft_ft)$	$pt3(m) + (0.1 \cdot tr_g)$
	pt5(m)	$pt3(m) + (0.5 \cdot ft_ft)$	pt3(m)
	pt1(b)	$pt3(b) - (0.5 \cdot ft_ft)$	pt3(b)
	pt2(b)	$pt3(b) - (0.25 \cdot ft_ft)$	$pt3(b) + (0.1 \cdot tr_g)$
	pt3(b)	n	$tre + (0.5 \cdot tr_g)$
	pt4(b)	$pt3(b) + (0.25 \cdot ft_ft)$	$pt3(b) + (0.1 \cdot tr_g)$
	pt5(b)	$pt3(b) + (0.5 \cdot ft_ft)$	pt3(b)

Enrugamento dos cantos internos das sobrancelhas

As rugas nos cantos internos das sobrancelhas foram desenhadas utilizando três curvas com três pontos, como mostrado na Tabela 3.11.

Tabela 3.10: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para enrugamento das bochechas.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Enrugamento sobrancelhas	pis1(e)	$p1(e) + 0.84 \cdot (n - p1(e))$	$n - 0.06 \cdot (n_se)$
	pis2(e)	$p1(e) + 0.87 \cdot (n - p1(e))$	$n + 0.02 \cdot (n_se)$
	pis3(e)	$p1(e) + 0.62 \cdot (n - p1(e))$	$n + 0.46 \cdot (n_se)$
	pis1(c)	n	pis1(e)
	pis2(c)	n	pis3(e)

Tabela 3.10: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para enrugamento das bochechas.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Enrugamento sobranceiras	pis3(c)	n	$\text{pis3}(c) - 0.5 \cdot (\text{pis3}(c) - \text{pis1}(c))$
	pis1(d)	$\text{p1}(d) + 0.84 \cdot (n - \text{p1}(d))$	pis1(e)
	pis2(d)	$\text{p1}(d) + 0.87 \cdot (n - \text{p1}(d))$	pis2(e)
	pis3(d)	$\text{p1}(d) + 0.62 \cdot (n - \text{p1}(d))$	pis3(e)

Enrugamento do nariz

As rugas do nariz foram desenhadas utilizando com sete curvas com três pontos, como mostrado na Tabela 3.11.

Tabela 3.11: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para os enrugamentos do nariz.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Enrugamento nariz sobranceira	psn1(c)	mf(e)	$n + 0.25 \cdot n_{se}$
	psn2(c)	n	$n + 0.5 \cdot n_{se}$
	psn3(c)	mf(d)	$n + 0.25 \cdot n_{se}$
	psn1(m)	mf(e)	$n + 0.5 \cdot n_{se}$
	psn2(m)	n	$n + 0.6 \cdot n_{se}$
	psn3(m)	mf(d)	$n + 0.5 \cdot n_{se}$
	psn1(b)	mf(e)	$n + 0.75 \cdot n_{se}$
	psn2(b)	n	se
Enrugamento nariz esquerda	pn1(e)	$\text{al}(e) + 0.22 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.27 \cdot n_{sn}$
	pn2(e)	$\text{al}(e) + 0.24 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.34 \cdot n_{sn}$
	pn3(e)	$\text{al}(e) + 0.4 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.39 \cdot n_{sn}$
	pn4(e)	$\text{al}(e) + 0.2 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.36 \cdot n_{sn}$
	pn5(e)	$\text{al}(e) + 0.26 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.39 \cdot n_{sn}$
	pn6(e)	$\text{al}(e) + 0.28 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.46 \cdot n_{sn}$
Enrugamento nariz direita	pn1(d)	$\text{al}(d) + 0.22 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.27 \cdot n_{sn}$
	pn2(d)	$\text{al}(d) + 0.24 \cdot \text{al}_{al}$	$nY + 0.34 \cdot n_{sn}$

Tabela 3.11: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para os enrugamentos do nariz.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Enrugamento nariz direita	pn3(d)	$al(d)+0.4 \cdot al_al$	$nY+0.39 \cdot n_sn$
	pn4(d)	$al(d)+0.2 \cdot al_al$	$nY+0.36 \cdot n_sn$
	pn5(d)	$al(d)+0.26 \cdot al_al$	$nY+0.39 \cdot n_sn$
	pn6(d)	$al(d)+0.28 \cdot al_al$	$nY+0.46 \cdot n_sn$

Enrugamento das bochechas

As rugas da bochecha foram desenhadas utilizando duas curvas com cinco pontos, como mostrado na Tabela 3.12.

Tabela 3.12: Cálculo do posicionamento dos *landmarks* para enrugamento das bochechas.

Parte do Rosto	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Enrugamento da bochecha	psn1(e)	$al(e)+0.1 \cdot (al(e)-ch(e))$	$mf(e)+0.6 \cdot (sn-mf(e))$
	pb2(e)	$al(e)+0.5 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.15 \cdot (ch(e)-pb1(e))$
	pb3(e)	$al(e)-0.8 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.35 \cdot (ch(e)-pb1(e))$
	pb4(e)	$al(e)-1.1 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.55 \cdot (ch(e)-pb1(e))$
	pb5(e)	$al(e)-1.1 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.8 \cdot (ch(e)-pb1(e))$
	pb1(e)	$al(e)+0.1 \cdot (al(e)-ch(e))$	$mf(e)+0.6 \cdot (sn-mf(e))$
	pb2(e)	$al(e)+0.5 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.15 \cdot (ch(e)-pb1(e))$
	pb3(e)	$al(e)-0.8 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.35 \cdot (ch(e)-pb1(e))$
	pb4(e)	$al(e)-1.1 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.55 \cdot (ch(e)-pb1(e))$
	pb5(e)	$al(e)-1.1 \cdot (al(e)-ch(e))$	$pb1(e)+0.8 \cdot (ch(e)-pb1(e))$

Auxiliares

Os pontos auxiliares foram utilizados para embasar o cálculo dos demais pontos que formam as curvas, como mostrado na Tabela 3.13.

Tabela 3.13: Cálculo do posicionamento dos *landmarks*.

Pontos	Ponto	Cálculo da posição horizontal	Cálculo da posição vertical
Auxiliares	n	$v+v_n$	v
	ft(e)	$n-0,5 \cdot ft_ft$	$tr+0,5 \cdot tr_g$
	ft(d)	$n+0,5 \cdot ft_ft$	$tr+0,5 \cdot tr_g$
	v	0	0
	se	n	en

3.2 Splines

O desenho das curvas que representam as partes do rosto é realizado por meio da técnica de representação de curvas *b-splines*. Cada curva é caracterizada pelo vetor de pontos de controle (*landmarks* antropométricos) que a formam. No traçado das curvas foram utilizados polinômios cúbicos, pois estes oferecem um compromisso razoável entre flexibilidade e velocidade de processamento (FOLEY, 1996).

A maioria das curvas foi gerada com três pontos de controle, conforme mostrado na Figura 3.2. Vale ser frisado que foi necessária a adição de dois pontos na sobrancelha (*pas1* e *pas2*) para que o resultado da movimentação fosse o mesmo que o descrito nas unidades de ação 1, 2 e 4 (Figure 2.3). Esses dois pontos foram estabelecidos por meio do método de subdivisão em *splines* descrito em (HEARN; BAKER, 1997), no qual são adicionados mais pontos na curva sem alterá-la. As coordenadas do novo ponto são definidas como a média das coordenadas de dois pontos da curva.

3.3 Representação de emoções

Para contemplar a tarefa de reproduzir as expressões faciais nos *sketchs*, é necessário simular os movimentos provocados pelas emoções na face, e aplicar esse efeito nas curvas que compõem o rosto. A seguir é descrito como *FACS* e *splines* foram empregados para obter uma representação em forma de *sketchs* das expressões faciais. Esse modelo de representação das expressões faciais também foi incorporado às grâmaticas.

Os movimentos reproduzidos neste trabalho retratam a descrição mais comum de representação das expressões faciais. Apesar de poderem existir variações nessas expressões, apenas uma variação foi considerada.

Foram realizadas tentativas de construção de modelos variados para americanos afro-descendentes e indivíduos com idades inferiores a 19 anos, porém nem todas as medidas necessárias foram obtidas como no modelo para um americano caucasiano de 19 a 25 anos.

3.3.1 O modelo de representação das expressões faciais por meio de FACS

Primeiramente foram definidas quais expressões faciais seriam representadas nesse trabalho. Foram consideradas as expressões de satisfação, tristeza, raiva, aversão, medo e surpresa, por serem universais, conforme descrito no capítulo 1. Em seguida, estudou-se quais unidades de ação formam essas expressões faciais. A aparência resultante da influência que cada unidade de ação exerce no rosto foi seguida conforme as descrições encontradas em Ekman e Friesen (1976) e Ekman, Friesen e Hager (2002).

Apesar da ampla descrição de cada unidade de ação, as ciências comportamentais não estão preocupadas em medir exatamente com qual intensidade se varia um músculo em uma dada unidade de ação. Há apenas uma descrição de qual músculo se move, e a implicação dessa ação nas partes dos rostos. Por exemplo, quando se varia o músculo equivalente a unidade de ação 2, há uma descrição retratando que existe um arqueamento da sobancelha, um esticamento da pálpebra superior e um possível enrugamento da testa. Porém, não existe nenhuma descrição do grau de arqueamento da sobancelha, ou qual é a medida total de enrugamento da testa. O presente estudo adotou a abordagem de trabalhar apenas com as descrições e as imagens fornecidas para gerar o novo posicionamento de cada ponto antropométrico.

Para contornar o problema, foi preciso encontrar uma maneira alternativa de realizar as variações nos pontos de controle sem gerar inconsistências. Para isso definiu-se um envoltório no entorno de cada parte do rosto. Assim os pontos de controle variam seus posicionamentos com base na medida definida por esse envoltório.

O envoltório de variação é definido com o dobro do tamanho do retângulo que envolve a curva, como ilustrado na Figura 3.3. Assim, o reposicionamento de um ponto se baseia em variar um percentual da medida do envoltório correspondente, pois a geração dinâmica das expressões permite que o usuário defina a porcentagem de emoção que deve ser representada (de zero a cem por cento para cada tipo de emoção).

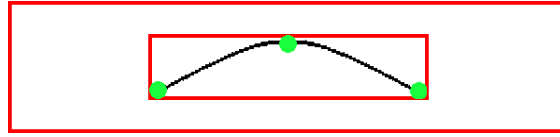


Figura 3.3: A linha vermelha interna mostra a relação entre o tamanho do envoltório e a curva contida. A linha externa delimita um envoltório que é o dobro do tamanho. A curva em preto corresponde a uma parte do rosto e em verde seus pontos de controle.

A partir da abordagem apresentada, é possível gerar desde expressões mais sutis até expressões totais a partir das variações nos pontos de controle envolvidos em cada unidade de ação da emoção facial solicitada. As transições entre duas expressões faciais diferentes são feitas por meio da passagem pela expressão neutra. Exemplos de porcentagens diferentes da mesma expressão são apresentados na Figura 4.1.

Nenhum modelo de representação da movimentação dos músculos foi utilizado, restringiu-se apenas a utilizar a aparência produzida nos movimentos dos músculos, que está descrita em cada unidade de ação. Logo, a real variação (porcentagem do envoltório) de cada ponto de controle das curvas foi realizada de forma empírica. Considerando as diferentes intensidades (EKMAN et al., 1987; EKMAN, 2007) que cada expressão facial pode produzir, cada unidade de ação oscila de zero até a porcentagem máxima.

A solução adotada para representar as transições que ocorrem entre uma expressão facial neutra e as demais expressões faciais foi variar a intensidade de cada movimento entre zero e o máximo definido para determinada ação. Portanto, durante a transição ocorre passagem por todas as intensidades de cada emoção.

Outra dificuldade encontrada na representação das emoções surgiu com o fato da antropometria não descrever nenhum dado sobre o enrugamento da face. Portanto, foi necessário fazer uma estimativa da localização desses pontos para geração dessas rugas e das variações que podem sofrer.

Para fornecer maior impressão de realidade do enrugamento, as rugas se movem conforme a movimentação da parte do rosto na unidade de ação. Por exemplo, as rugas que surgem na testa sofrem a mesma elevação vertical da sobrancelha levantando-se.

Outro efeito adotado foi o aparecimento gradual das rugas. Este efeito é importante visto que a profundidade dessas marcas de expressão aumentam conforme o movimento do músculo. Por isso, para dar um tom de aparecimento das rugas, a espessura das curvas que as formam, varia entre zero e a espessura padrão adotada para as demais linhas do desenho.

A equação 3.2 representa a variação no posicionamento dos pontos de acordo com o envoltório. No qual, PE é a posição do *landmark* em uma expressão facial, PN corresponde a posição do mesmo *landmarks* na face neutra, α é uma porcentagem, I é a intensidade a emoção e $PN2-PN3$ é o tamanho do envoltório.

$$PE = PN + \alpha \cdot I \cdot |PN2 - PN3| \quad (3.2)$$

A posição do ponto em uma dada emoção é calculada com base nas coordenadas x e y da face neutra. Na equação 3.2, o elemento *alpha* é o percentual necessário e variação para unidade de ação atual de acordo com o envoltório para a emoção que está sendo representada, I mostra o quão intensa será a emoção e o tamanho do envoltório ($PN2-PN3$) é a maior distância para x ou para y da parte do rosto.

Na Tabela 3.14 é apresentado como este cálculo das posições se estabelece em cada unidade de ação. A relação entre as unidades de ação e as expressões faciais, bem como a descrição de cada movimento estão descritas na seção 2.2. As letras em cada elemento da equação representam os *landmarks* antropométricos: e=esquerda, d=direita, c=acima, m=meio, b=abaixo e i=intensidade.

Tabela 3.14: Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.

Unidade de ação	Parte do rosto	Equação
1	Sobrancelha esquerda	$p1eX = p1eX + 0.07 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$p1eY = p1eY + 0.09 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas1eY = pas1eY + 0.035 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$oseY = oseY - 0.02 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
	Sobrancelha direita	$p1dX = p1eX - 0.07 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$p1dY = p1dY + 0.09 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas1dY = pas1dY + 0.035 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$osdY = osdY - 0.02 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
	Enrugamentos Testa central	$pt2Y = pt2Y + (i-1) \cdot (pt3Y - pt2Y)$
		$pt3Y = pt3Y + (i-1) \cdot (pt3Y - pt2Y)$
$pt4Y = pt4Y + (i-1) \cdot (pt3Y - pt2Y)$		
2	Sobrancelha esquerda	$p1eX = p1eX - 0.01 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$p2eX = p2eX - 0.01 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$pas1eX = pas1eX - 0.01 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$

Tabela 3.14: Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.

Unidade de ação	Parte do rosto	Equação
2	Sobrancelha esquerda	$pas2eX=pas2eX-0.01 \cdot i \cdot (p2eX-p1eX)$
		$oseX=oseX-0.01 \cdot i \cdot (p2eX-p1eX)$
		$p1eY=p1eY+0.01 \cdot i \cdot (p1eY-oseY)$
		$p2eY=p2eY+0.015 \cdot i \cdot (p1eY-oseY)$
		$pas1eY=pas1eY+0.015 \cdot i \cdot (p1eY-oseY)$
		$pas2eY=pas2eY+0.06 \cdot i \cdot (p1eY-oseY)$
		$oseY=oseY-0.025 \cdot i \cdot (p1eY-oseY)$
	Sobrancelha direita	$p1dX=p1dX+0.01 \cdot i \cdot (p2dX-p1dX)$
		$p2dX=p2dX+0.01 \cdot i \cdot (p2dX-p1dX)$
		$pas1dX=pas1dX+0.01 \cdot i \cdot (p2dX-p1dX)$
		$pas2dX=pas2dX+0.01 \cdot i \cdot (p2dX-p1dX)$
		$osdX=osdX+0.01 \cdot i \cdot (p2dX-p1dX)$
		$p1dY=p1dY+0.01 \cdot i \cdot (p1dY-osdY)$
		$p2dY=p2dY+0.015 \cdot i \cdot (p1dY-osdY)$
		$pas1dY=pas1dY+0.015 \cdot i \cdot (p1dY-osdY)$
		$pas2dY=pas2dY+0.06 \cdot i \cdot (p1dY-osdY)$
		$osdY=osdY-0.025 \cdot i \cdot (p1dY-osdY)$
	Olho: pálpebras superiores	$pseY=pseY+0.2 \cdot i \cdot (pieY-pseY)$
		$pseY=pseY+0.2 \cdot i \cdot (pidY-psdY)$
	Enrugamentos Testa central	$pt1cY=pt1cY+(i-1) \cdot (pt3cY-pt2cY)$
		$pt2cY=pt2cY+(i-1) \cdot (pt3cY-pt2cY)$
		$pt3cY=pt3cY+(i-1) \cdot (pt3cY-pt2cY)$
		$pt4cY=pt4cY+(i-1) \cdot (pt3cY-pt2cY)$
		$pt5cY=pt5cY+(i-1) \cdot (pt3cY-pt2cY)$
		$pt1mY=pt1mY+(i-1) \cdot (pt3mY-pt2mY)$
		$pt2mY=pt2mY+(i-1) \cdot (pt3mY-pt2mY)$
		$pt3mY=pt3mY+(i-1) \cdot (pt3mY-pt2mY)$

Tabela 3.14: Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.

Unidade de ação	Parte do rosto	Equação
2	Enrugamentos Testa central	$pt4mY = pt4mY + (i-1) \cdot (pt3mY - pt2mY)$
		$pt5mY = pt5mY + (i-1) \cdot (pt3mY - pt2mY)$
		$pt1bY = pt1bY + (i-1) \cdot (pt3bY - pt2bY)$
		$pt2bY = pt2bY + (i-1) \cdot (pt3bY - pt2bY)$
		$pt3bY = pt3bY + (i-1) \cdot (pt3bY - pt2bY)$
		$pt4bY = pt4bY + (i-1) \cdot (pt3bY - pt2bY)$
		$pt5bY = pt5bY + (i-1) \cdot (pt3bY - pt2bY)$
4	Sobrancelha esquerda	$p1eX = p1eX - 0.05 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$p2eX = p2eX - 0.01 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$pas1eX = pas1eX - 0.04 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$pas2eX = pas2eX - 0.01 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$oseX = oseX - 0.02 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$p1eY = p1eY - 0.03 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$p2eY = p2eY - 0.01 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas1eY = pas1eY - 0.025 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas2eY = pas2eY - 0.01 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$oseY = oseY - 0.04 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
	Sobrancelha direita	$p1dX = p1dX + 0.05 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$p2dX = p2dX + 0.01 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$pas1dX = pas1dX + 0.04 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$pas2dX = pas2dX + 0.01 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$osdX = osdX + 0.02 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$p1dY = p1dY - 0.03 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$p2dY = p2dY - 0.01 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas1dY = pas1dY - 0.025 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas2dY = pas2dY - 0.01 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$osdY = osdY - 0.04 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
Olho: pálpebras superiores	$pseY = pseY - 0.2 \cdot i \cdot (pieY - pseY)$	
	$psdY = psdY - 0.2 \cdot i \cdot (pidY - psdY)$	
1+2	Sobrancelha	$p1eY = p1eY - 0.02 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$

Tabela 3.14: Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.

Unidade de ação	Parte do rosto	Equação
1+2	Sobrancelha esquerda	$p1eY = p1eY - 0.02 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$p2eY = p2eY + 0.01 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas1eY = pas1eY + 0.015 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas2eY = pas2eY + 0.02 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$oseY = oseY + 0.04 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
	Sobrancelha direita	$p1dY = p1dY - 0.02 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$p2dY = p2dY + 0.01 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas1dY = pas1dY + 0.015 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas2dY = pas2dY + 0.02 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$osdY = osdY + 0.04 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
1+4	Sobrancelha esquerda	$p1eX = p1eX + 0.02 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$pas1eX = pas1eX + 0.1 \cdot i \cdot (p2eX - p1eX)$
		$pas1eY = pas1eY + 1.5 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas2eY = pas2eY - 0.5 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$oseY = oseY + i \cdot (p1eY - oseY)$
	Sobrancelha direita	$p1dX = p1dX - 0.02 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$pas1dX = pas1dX - 0.1 \cdot i \cdot (p2dX - p1dX)$
		$pas1dY = pas1dY + 1.5 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas2dY = pas2dY - 0.5 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$osdY = osdY + i \cdot (p1dY - osdY)$
1+2+4	Sobrancelha esquerda	$p1eY = p1eY + 0.01 \cdot i \cdot 3.5cm \cdot (p1eY - oseY)$
		$p2eY = p2eY + 0.01 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas1eY = pas1eY - 0.025 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$pas2eY = pas2eY + 0.01 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
		$oseY = oseY + 0.01 \cdot i \cdot (p1eY - oseY)$
	Sobrancelha direita	$p1dY = p1dY + 0.01 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$p2dY = p2dY + 0.01 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas1dY = pas1dY - 0.025 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$pas2dY = pas2dY + 0.01 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$
		$osdY = osdY + 0.01 \cdot i \cdot (p1dY - osdY)$

Tabela 3.14: Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.

Unidade de ação	Parte do rosto	Equação
1+2+4	Olho: pálpebras superiores	$pseY = pseY - 0.2 \cdot i \cdot (pieY - pseY)$
		$psdY = psdY - 0.2 \cdot i \cdot (pidY - psdY)$
5	Olho: pálpebras superiores	$pseY = pseY + 0.6 \cdot i \cdot (pieY - pseY)$
		$psdY = psdY + 0.6 \cdot i \cdot (pidY - psdY)$
6	Olhos e pálpebras esquerda	$pseY = pseY - 0.3 \cdot i \cdot (pieY - pseY)$
		$pieY = pieY + 0.3 \cdot i \cdot (pieY - pseY)$
		$oreY = oreY + 0.3 \cdot i \cdot (oreY - pp1eY)$
	Olhos e pálpebras direita	$psdY = psdY - 0.3 \cdot i \cdot (pidY - psdY)$
		$pidY = pidY + 0.3 \cdot i \cdot (pidY - psdY)$
		$ordY = ordY + 0.3 \cdot i \cdot (ordY - pp1dY)$
	Enrugamentos olho esquerdo	$p1eY = p1eY + (i-1) \cdot (p8eY - p6eY)$
		$p1eX = p1eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p2eX = p2eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p3eX = p3eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p4eX = p4eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p5eX = p5eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p6eX = p6eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p7eX = p7eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p8eX = p8eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p9eX = p9eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
		$p10eX = p10eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$
	$p11eX = p11eX + (i-1) \cdot (p8eX - p6eX)$	
	Enrugamentos olho direito	$p1dY = p1dY + (i-1) \cdot (p8dY - p6dY)$
		$p1dX = p1dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p2dX = p2dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p3dX = p3dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p4dX = p4dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p5dX = p5dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p6dX = p6dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p7dX = p7dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p8dX = p8dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p9dX = p9dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
		$p10dX = p10dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$
	$p11dX = p11dX + (i-1) \cdot (p8dX - p6dX)$	
7	Olhos e pálpebras	$pseY = pseY - 0.5 \cdot i \cdot (pieY - pseY)$

Tabela 3.14: Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.

Unidade de ação	Parte do rosto	Equação
7	Olhos e pálpebras esquerda	$pieY = pieY + 0.5 \cdot i \cdot (pieY - pseY)$
		$oreY = oreY + 0.5 \cdot i \cdot (oreY - pp1eY)$
	Olhos e pálpebras direita	$psdY = psdY - 0.5 \cdot i \cdot (pidY - psdY)$
		$pidY = pidY + 0.5 \cdot i \cdot (pidY - psdY)$
		$ordY = ordY + 0.5 \cdot i \cdot (ordY - pp1dY)$
9	Nariz esquerda	$aceX = aceX + 0.03 \cdot i \cdot (mfeX - snX)$
		$aceY = aceY + 0.06 \cdot i \cdot (snY - mfeY)$
		$aleY = aleY + 0.06 \cdot i \cdot (snY - mfeY)$
	Nariz direita	$aceX = aceX - 0.03 \cdot i \cdot (mfeX - snX)$
		$aceY = aceY + 0.06 \cdot i \cdot (snY - mfeY)$
		$aleY = aleY + 0.06 \cdot i \cdot (snY - mfeY)$
Lábio superior	$lsY = lsY + 0.06 \cdot i \cdot (liY - lsY)$	
	$stoY = stoY + 0.06 \cdot i \cdot (liY - lsY)$	
12	Lábios	$cheX = cheX + 0.1 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$chdX = chdX - 0.1 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$cheY = cheY + 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$chdY = chdY + 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
15	Lábios	$cheY = cheY - 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$chdY = chdY - 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
16+25	Lábio inferior	$stoY = stoY - 1.2 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$liY = liY - 1.2 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
20	Lábios	$cheX = cheX + 0.15 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$chdX = chdX - 0.15 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$lsY = lsY - 0.1 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$liY = liY + 0.1 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
23	Lábios	$cheX = cheX + 0.004 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$chdX = chdX - 0.004 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$lsY = lsY - 0.27 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$liY = liY + 0.27 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
25	Lábios	$cheX = cheX + 0.01 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$chdX = chdX - 0.01 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
	Lábio superior	$lsY = lsY + 0.3 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$stoY = stoY + 0.3 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
	Lábio inferior	$stoY = stoY - 0.3 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$liY = liY - 0.3 \cdot i \cdot (liY - lsY)$

Tabela 3.14: Cálculo das posições de cada ponto nas unidades de ação seguindo a descrição do envoltório.

Unidade de ação	Parte do rosto	Equação
26	Lábios	$cheX = cheX + 0.05 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$chdX = chdX - 0.05 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
	Lábio superior	$lsY = lsY + 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$stoY = stoY + 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
	Lábio inferior	$stoY = stoY - 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$liY = liY - 1.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
27	Lábios	$cheX = cheX + 0.1 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
		$chdX = chdX - 0.1 \cdot i \cdot (cheX - chX)$
	Lábio superior	$lsY = lsY + 2.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$stoY = stoY + 2.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
	Lábio inferior	$stoY = stoY - 2.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$
		$liY = liY - 2.0 \cdot i \cdot (liY - lsY)$

3.4 Integração com a gramática

A gramática entrou nesse projeto com o objetivo de flexibilizar a maneira e a estrutura para armazenar e gerenciar a geração das caricaturas, ou seja, tem a função de oferecer um grau de liberdade maior na estruturação e geração dos *sketchs*. Essa gramática é implementada por meio de um grafo AND-OR.

Primeiramente os modelos para representação da face e das emoções foram transferidos para o Grafo. Então o sistema de desenho de *splines* foi incorporado ao sistema de geração de faces com a gramática. Essa integração foi realizada por meio de uma interface no código da aplicação que chama os métodos responsáveis por desenhar as curvas *splines* e, assim, realizar a síntese das caricaturas de cada expressão facial desejada.

3.4.1 Construção do Grafo AND-OR

O grafo AND-OR é esquematizado na Figura 3.4. A definição do grafo apresenta um nó OR na raiz (nível 1), que seleciona um dentre sete diferentes nós AND, cada um simbolizando uma face com uma das seis expressões faciais básicas, além da face neutra (nível 2).

No terceiro nível encontram-se os nós OR das sete partes principais que compõem qualquer um dos tipos de faces: sobrancelhas (esquerda e direita), olhos (esquerdo e direito), nariz, boca e restante do rosto. Estes, por serem

do tipo OR, também são seletores e possuem uma gama de opções cada um no nível 4 (ex.: boca reta, boca arqueada para cima, boca arqueada para baixo, boca aberta, etc).

Para o desenho *b-spline*, basta um conjunto de pontos de controle como informação adicional ao grafo para que uma curva seja desenhada. Então, foram incluídas duas novas classes de componentes no grafo: curvas e pontos. Cada nó AND no quarto nível se decompõe em curvas, presentes no quinto nível.

As curvas neste quinto nível são nós OR, e também possuem tipos à escolha no sexto nível. Por fim, cada curva em um nó AND do sexto nível é composta pelos pontos de controle usados como parâmetro para sua geração. Os pontos são os nós folhas do grafo e contêm suas respectivas coordenadas x e y no plano bidimensional.

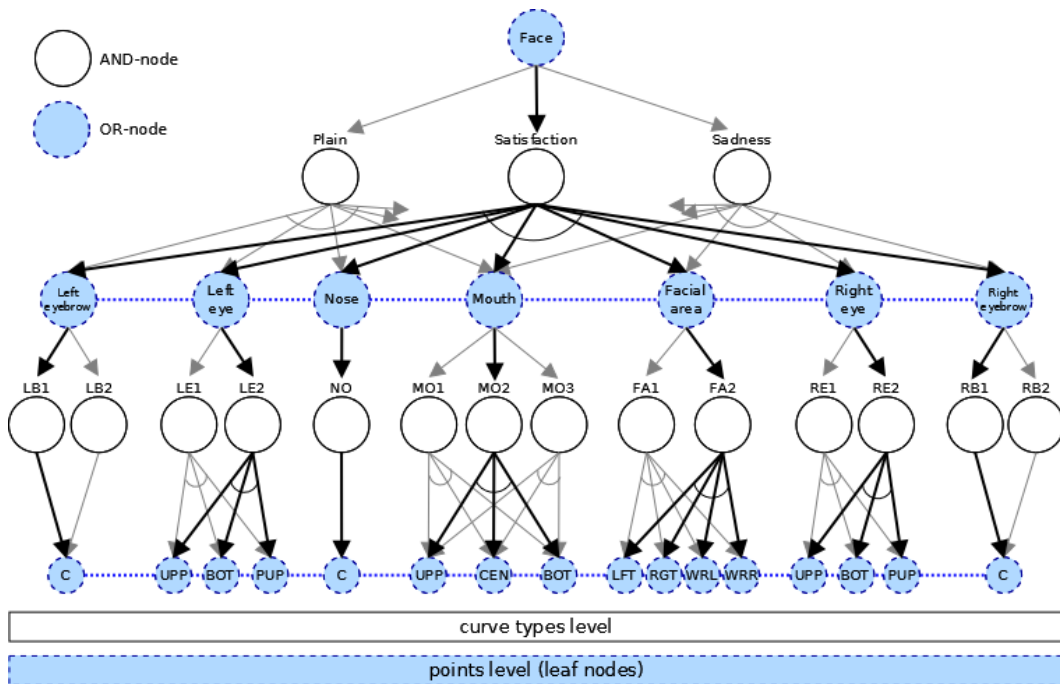


Figura 3.4: Ilustração do grafo AND-OR parcial com a face neutra e as emoções Satisfação e Tristeza.

Uma dada configuração desse grafo representa uma face inicial com determinada emoção, mas tendo nas folhas um intervalo possível de posicionamento de todos os pontos de controle. Assim, para representar uma dada imagem, os valores exatos das coordenadas x e y dos pontos de controle precisam ser definidos. Isso é feito primeiro inicializando esses valores aleatoriamente em um intervalo de um desvio padrão para mais ou para

menos em torno da média (valores definidos nas folhas com base nos dados antropométricos). Os nós folhas da face neutra tem seus posicionamentos calculados conforme o modelo antropométrico descrito na Seção 3.1.1.

Esses valores são então ajustados conforme a intensidade desejada daquela emoção. Agora, os nós folhas terão suas posições de x e y computadas de acordo com o modelo do envoltório, estes cálculos são apresentados na Tabela 3.14

Para gerar as configurações de imagens, um algoritmo deve percorrer o grafo recursivamente a partir da raiz, ramificando a busca em cada nó AND e selecionando uma opção em cada nó OR. Durante esse percurso, as relações de distância são consultadas e as posições dos pontos são sorteadas e ajustadas segundo as restrições previamente definidas nas relações. As setas em preto na Figura 3.4 indicam as arestas associadas às produções que geram uma face de satisfação.

A maior parte das arestas horizontais indicam relações espaciais de distância entre as partes, curvas e pontos. Essas distâncias, conforme mencionado, são atribuídas segundo os dados antropométricos.

3.5 Avaliação das imagens geradas

O realismo das caricaturas geradas foi avaliado por voluntários. Foram construídos formulários utilizando-se a ferramenta Google formulários *Google-Forms*¹, disponibilizados na Internet. Os formulários continham imagens de todas as emoções, sendo disponibilizada uma única imagem em cada página a fim de evitar que o avaliador se confundisse. Ao lado de cada imagem foram disponibilizadas as opções das sete emoções (incluindo a face neutra), sendo solicitado ao avaliador que selecionasse aquela que ele considerava representada na imagem.² A primeira página do formulário de apresentação é mostrada na Figura 3.5.

Cada formulário possuía quatro imagens com diferentes níveis de intensidade (25%, 50%, 75% e 100%) de cada uma das seis emoções e mais uma imagem representando a face neutra. Como mecanismo de conferência, foram repetidas as seis imagens com intensidade 75%, uma de cada emoção não neutra, em posições aleatórias dos formulários, a fim de permitir estimar o nível de coerência dos avaliadores. Cada formulário totalizou, assim, 31 imagens.

A fim de tentar minimizar a influência de fadiga do avaliador, o que poderia gerar efeitos no reconhecimento das imagens posicionadas no final

¹<http://www.google.com/google-d-s/createforms.html>

²Um formulário de demonstração está disponível em: <http://goo.gl/AqX7Ut>

Demonstração: Expressões faciais das emoções

Nosso projeto visa desenvolver um programa capaz de desenhar, de forma automática, imagens de faces humanas com expressões faciais. Inicialmente, as imagens serão apenas esboços (caricaturas), sem cores, texturas ou aparência 3D. Esse programa poderá ser utilizado para fins médicos, como um jogo ou ferramenta de diagnóstico para pacientes que, devido ao transtorno psiquiátrico que apresentam, possuem dificuldades em reconhecer corretamente as expressões faciais das emoções.

O questionário a seguir tem como objetivo avaliar a qualidade das imagens geradas até o momento. Apresentamos abaixo um conjunto de 31 imagens de faces. Cada uma delas está associada a uma das seis expressões faciais básicas – satisfação (ou alegria), tristeza, surpresa, raiva, aversão (ou nojo), medo e expressão neutra – e apresenta um certo grau de intensidade.

Solicitamos que você assinale para cada uma das imagens qual das sete expressões faciais você acredita que ela representa melhor.

*Obrigatório

Idade: *

Sexo: *

- Feminino
 Masculino



1 - Qual emoção melhor descreve a imagem acima? *

Selecione apenas uma opção

- Satisfação
 Tristeza
 Surpresa
 Raiva
 Aversão (Nojo)
 Medo
 Neutra

3% concluído

Powered by
 Google Forms

Este formulário não foi criado nem aprovado pelo Google.
[Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Termos Adicionais](#)

Figura 3.5: Exemplo de formulário usado para coletar dados.

do formulário, as imagens foram aleatoriamente distribuídas gerando dez diferentes versões dos formulários.

A participação dos avaliadores foi voluntária e anônima. Os formulários foram distribuídos por mensagens eletrônicas pelos participantes do projeto. Os dados de idade e sexo também foram coletados com o intuito de permitir verificar eventuais diferenças de percepção em função dessas variáveis.

Capítulo 4

Resultados

As caricaturas geradas para a avaliação são apresentadas na Figura 4.1, considerando as intensidades descritas na seção anterior.

A avaliação das imagens contou com 237 avaliadores voluntários saudáveis, cujas idades variaram de 13 a 77 anos, sendo 54% homens do total de avaliadores.

Foram considerados três grupos nos resultados apresentados: menos de 25, 26 a 55 e maior que 55 anos. O percentual de participantes em cada grupo foi, respectivamente, 32% (77 voluntários), 61% (145 voluntários) e 6% (15 voluntários).

A Figura 4.2 e a Tabela 4.1 apresentam os resultados de forma global, ou seja, sem distinção de gênero ou idade. Na Figura 4.2, cada curva representa a porcentagem de acertos para cada uma das intensidades consideradas de cada emoção (25%, 50%, 75%, 100%). A Tabela 4.1 apresenta o cruzamento de respostas entre os diversos tipos de emoções representadas nas imagens. Vale ressaltar que uma média foi feita para a intensidade 75% de cada emoção por causa das imagens duplicadas.

Tabela 4.1: Matriz de confusão das respostas obtidas. Em negritos estão indicadas as taxas de correspondência das emoções esperadas.

	Raiva	Aversão	Medo	Satisfação	Neutra	Tristeza	Surpresa
Raiva	51%	7%	6%	1%	27%	5%	3%
Aversão	38%	49%	2%	2%	5%	2%	2%
Medo	9%	7%	36%	2%	12%	13%	21%
Satisfação	0%	0%	0%	86%	10%	2%	2%
Neutra	1%	0%	2%	2%	91%	2%	2%
Tristeza	6%	5%	6%	0%	3%	79%	1%
Surpresa	0%	1%	8%	5%	13%	2%	71%

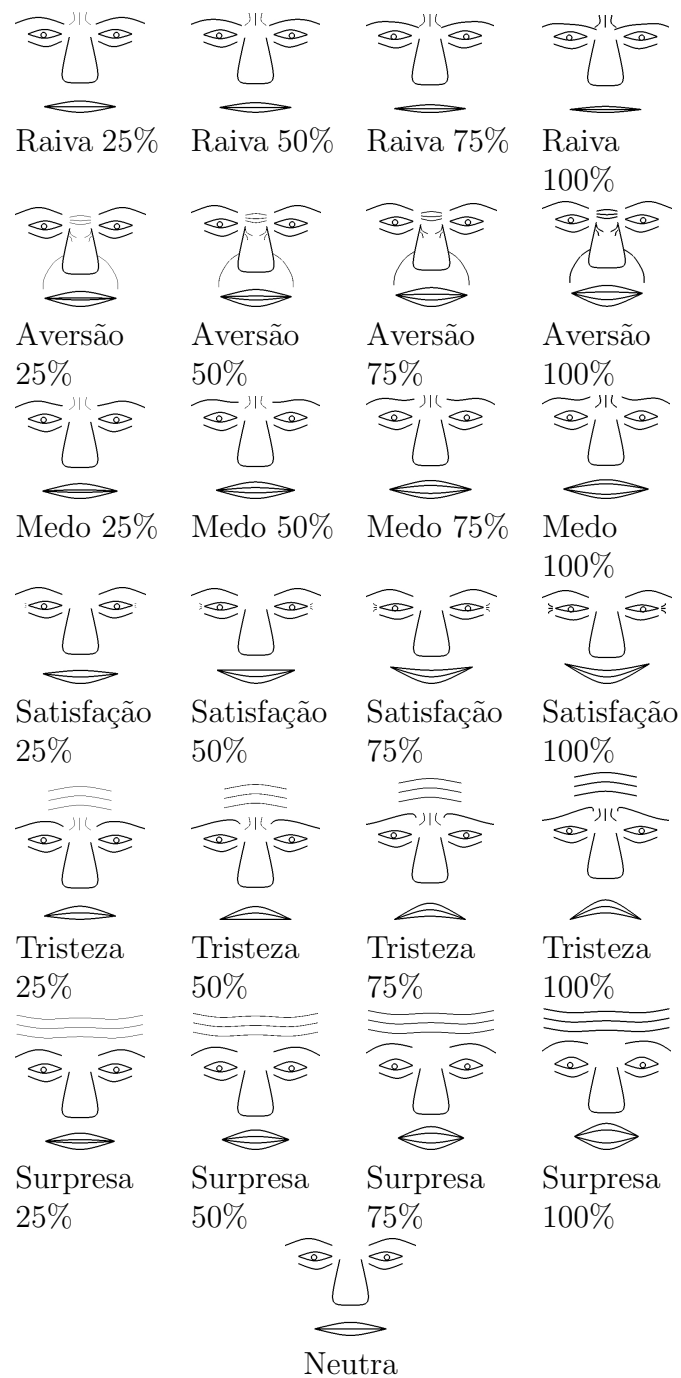


Figura 4.1: Expressões faciais utilizadas na avaliação.

A Figura 4.3 apresenta as taxas de acerto considerando-se os gêneros feminino e masculino, mas desconsiderando as intensidades.

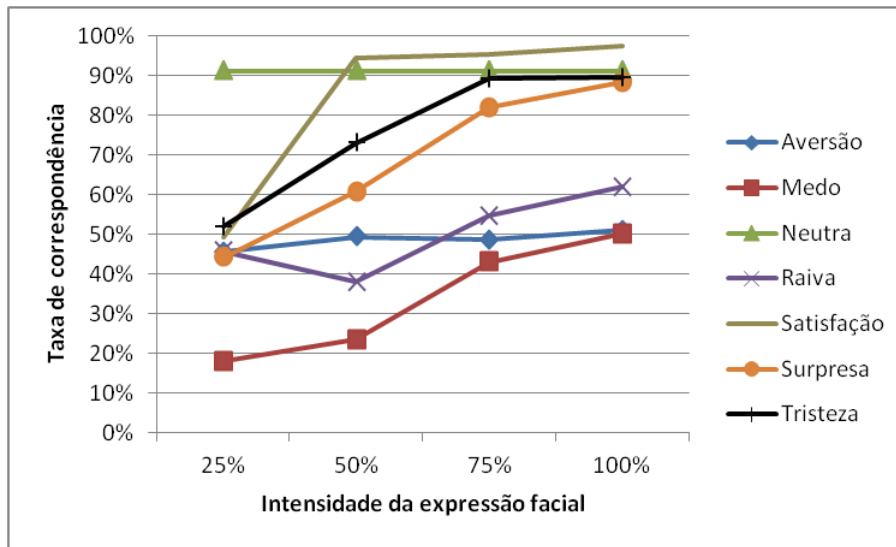


Figura 4.2: Taxa de acerto das respostas para cada emoção avaliada.

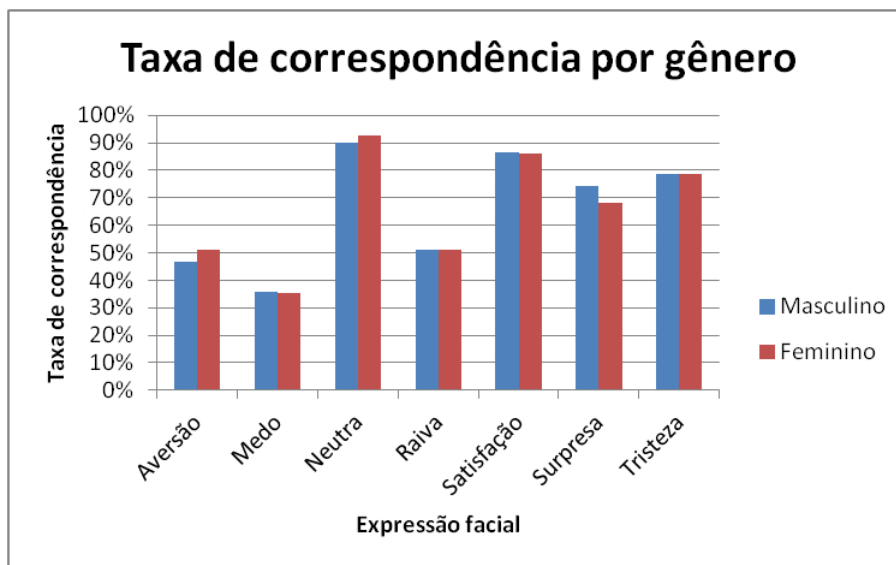


Figura 4.3: Taxa de acerto das respostas para cada gênero.

Finalmente, a Figura 4.4 apresenta as taxas de acerto dentro de cada faixa etária, considerando-se três grupos de idades.

Uma última análise foi conduzida sobre as respostas. Conforme descrito na seção anterior, imagens foram incluídas repetidamente nos formulários como uma forma de controle. A Tabela 4.2 apresenta os níveis de coerência entre as respostas de imagens repetidas, considerando-se uma análise global

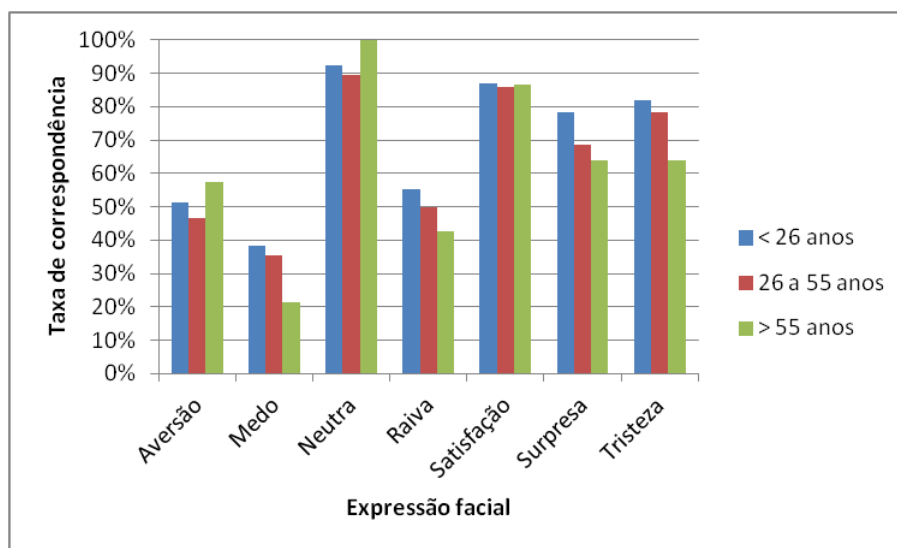


Figura 4.4: Taxa de acerto das respostas para cada faixa etária.

e divisões por gênero e por faixa etária.

Tabela 4.2: Coerência das respostas referentes às imagens duplicadas.

	<25%	26 a 50%	51 a 75%	>75%
Global	1%	28%	33%	38%
Masculino	2%	28%	29%	41%
Feminino	1%	28%	37%	34%
<25 anos	0%	24%	36%	40%
26-55 anos	2%	27%	32%	39%
>55 anos	0%	56%	25%	19%

4.1 Discussão

Apesar de utilizarmos diferentes intensidades de cada emoção nas entrevistas, consideramos como resposta correta de uma imagem a emoção relacionada àquela imagem, não havendo sido perguntado nada sobre intensidade. Vale ressaltar que utilizamos voluntários saudáveis com o objetivo de avaliar a qualidade da representação das emoções nas imagens geradas. Logo, as taxas de erros provavelmente não significam inabilidade dos avaliadores em reconhecerem emoções faciais, mas indícios de que as caricaturas precisam ser aperfeiçoadas.

4.1.1 Avaliação global das caricaturas

A partir da Figura 4.2 é possível perceber que, tristeza da face neutra e da emoção aversão, o reconhecimento correto aumentou à medida que aumentou a intensidade das emoções representadas. Outra exceção foi a emoção raiva, que apresentou uma queda da taxa de acerto na intensidade 50%, na qual essa emoção foi mais confundida com a emoção neutra. As duas emoções diferem no arqueamento da boca para baixo e na inclusão de rugas no meio da testa na emoção raiva, que são sutis na intensidades de 25 e 50%.

As imagens da emoção medo foram as que apresentaram os menores níveis de reconhecimento em todas as intensidades, seguidas pelas imagens das emoções aversão e raiva. A análise das imagens de tais emoções permite perceber que essas são as caricaturas com menos alterações na parte inferior da face (região da boca). Isso sugere que os voluntários reconhecem mais facilmente as caricaturas com alterações mais acentuadas nesta região.

Verifica-se, ainda, que todas as emoções apresentaram taxas baixas de reconhecimento com a intensidade 25%, fornecendo indícios de que as alterações nas caricaturas estão muito sutis e dificultam o reconhecimento. Isso acontece até mesmo para as emoções que apresentaram alta taxa de reconhecimento nas demais intensidades. Destaca-se que o nível 25% de intensidade produz poucas alterações na região inferior da face, o que pode reforçar a importância da alteração dos traços nesta região.

A Tabela 4.1 fornece dados mais detalhados da confusão no reconhecimento das emoções. Analisando-se a emoção medo na terceira linha desta Tabela, verifica-se a menor taxa de reconhecimento (36%). As imagens referentes a esta emoção foram reconhecidas pelos voluntários como pertencentes a quase todas as demais emoções. A emoção com a qual a emoção medo foi mais confundida foi surpresa. Ao analisar as imagens dessas duas emoções verifica-se que a parte inferior das faces são parecidas, aumentando-se a abertura da boca de acordo com a intensidade. Assim, há indícios que esta alteração de traços foi relacionada à emoção surpresa e que as caricaturas referentes à emoção Medo devem ser reavaliadas a fim de incluir ou alterar traços que possam melhor representar tal emoção.

Uma análise similar pode ser conduzida para a emoção aversão que foi a segunda com menor taxa de acerto (segunda linha da Tabela 4.1). Esta emoção foi majoritariamente confundida com a emoção raiva. As imagens indicam que as principais diferenças entre as caricaturas dessas duas emoções são as linhas da testa e o acréscimo das linhas do nariz na emoção aversão. Essas linhas no nariz representam a alteração na unidade de ação 9, mas não foram suficientes para expressar com clareza a emoção citada, fato que deve ser melhorado nas caricaturas. De forma semelhante, a emoção raiva foi

confundida pelos usuários com a face neutra, indicando que os traços desta emoção deveriam ser mais contundentes.

Com exceção das três emoções analisadas, a diagonal principal da matriz de confusão apresentada na Tabela 4.1 indica que as demais emoções apresentaram taxas satisfatórias de reconhecimento. A emoção satisfação foi a que apresentou a maior taxa de acerto, seguida das emoções tristeza e surpresa. Esses dados sugerem que as caricaturas foram devidamente reconhecidas pelos avaliadores, principalmente considerando-se as intensidades de 75 e 100%.

Esses resultados concordam com os resultados descritos em (DYCK et al., 2008), no qual as emoções satisfação, tristeza e neutra apresentaram alta taxa de reconhecimento enquanto a emoção aversão foi fracamente reconhecida. Dyck et al. (2008), no entanto, alcançaram taxas de acerto satisfatórias também para as emoções medo e raiva.

4.1.2 Variáveis demográficas e coerência das respostas

A Figura 4.3 mostra que as taxas de acerto das emoções não variaram significativamente com relação ao sexo dos avaliadores.

De forma semelhante, a análise dos resultados considerando-se os três grupos de faixa etária não fornece indícios de diferenças significativas nos resultados considerando-se esta variável. No entanto, algumas observações, ainda que incipientes, podem ser discutidas. O grupo de voluntários mais velhos (mais que 55 anos) foram os que mais acertaram a face neutra e a emoção aversão. Também foram os que menos acertaram as demais emoções, tristeza da emoção satisfação, a qual apresenta uma taxa de reconhecimento mais consistente entre as faixas etárias. O grupo mais jovem (até 25 anos) acertou mais as emoções tristeza e surpresa. Entretanto, o gráfico mostra que as porcentagens são parecidas, o que torna difícil uma análise mais definitiva da influência desta variável.

Como mencionado na seção 3.5 a avaliação com voluntários incluiu um mecanismo para verificar a coerência das respostas, repetindo a imagem com 75% de intensidade de cada emoção. A Tabela 4.2 apresenta os resultados obtidos, considerando-se uma análise global e a divisão por gênero e faixa etária. Cada coluna traz a porcentagem de indivíduos que atingiram determinada faixa de coerência. Um resultado foi considerado coerente quando o avaliador indicou a mesma emoção para duas caricaturas idênticas no formulário, mesmo que esta emoção não estivesse correta.

A primeira linha da tabela indica que mais de 70% dos voluntários atingiram mais de 50% de coerência. As linhas 2 e 3 indicam que não houve diferença na divisão por gêneros: ambos os gêneros apresentaram em torno

de 71% dos voluntários com coerência na faixa superior (50% ou maior).

No entanto, verifica-se diminuição da coerência à medida que aumenta a idade dos voluntários. A faixa etária mais jovem (até 25 anos) apresentou em torno de 76% de voluntários com coerência na faixa superior. Já os voluntários com idade entre 26 e 55 anos e idade maior que 55 anos apresentaram, respectivamente, média de 1% e 44% de coerência na faixa superior. Embora a menor quantidade de voluntários com idade superior a 55 anos possa ter influenciado nessas porcentagens, é importante destacar que os avaliadores mais velhos parecem se confundir mais com as caricaturas do que aqueles mais jovens.

Capítulo 5

Considerações finais

A abordagem utilizada para produzir caricaturas com diferentes intensidades de emoções obteve resultados animadores considerando-se a avaliação de voluntários saudáveis. Com isso a proposta de união da antropometria, psicologia, geração de imagens por meio de *splines* e gramática se mostrou uma forma eficaz de sintetizar caricaturas das emoções.

As caricaturas da face neutra e das emoções satisfação, tristeza e surpresa foram claramente definidas pelos traços usando curvas *splines*, mas as emoções medo, aversão e raiva tiveram caricaturas com reconhecimento limitado. Verificou-se uma certa semelhança dos traços, uma vez que as AUs acionadas são semelhantes. Embora este fato possa parecer uma limitação da abordagem, a versão atual do projeto usou uma quantidade de curvas que pode ser aumentada. Em trabalhos futuros, portanto, o refinamento dos traços e a inclusão de novos traços podem diminuir a confusão entre as representações dessas emoções e melhorar os resultados.

Vale ressaltar a importância do esforço em gerar imagens virtuais ao invés da utilização de imagens reais. Imagens virtuais para reconhecimento de emoções podem ser igualmente eficazes se comparadas com imagens reais em aplicações de pesquisa (DYCK et al., 2008; BEKELE et al., 2014). Além disso, as imagens virtuais facilitam a implementação de aplicativos que trabalhem a manipulação e a animação (mudanças dinâmicas entre as intensidades e emoções) das faces, permitindo uma maior precisão no seu detalhamento (BEKELE et al., 2014). Por exemplo, não há meios de definir, de forma objetiva, como uma pessoa deveria fazer uma expressão de 75% de aversão. Além disso, uma pessoa real pode não conseguir isolar os músculos específicos de uma determinada emoção, ocasionando mistura de expressões e consequentemente tornando o reconhecimento mais difícil. Como o objetivo final deste trabalho é a criação de um jogo para treinamento de pessoas com dificuldades de reconhecimento de emoção, o cenário virtual, menos complexo, seria um

preparativo para as situações reais.

Além do mais, a integração com a gramática permitiu um flexibilização do modelo, e, desta maneira, a evolução do trabalho no futuro se dará de uma forma mais dinâmica, conforme se agregar mais contribuições.

Um artigo com os resultados desse projeto está sendo elaborado e será submetido a conferência ACM SAC. Uma versão prévia é apresentada no apêndice A

Referências Bibliográficas

BEKELE, E. et al. Assessing the utility of a virtual environment for enhancing facial affect recognition in adolescents with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, Jan 2014.

CHENG, Y.; LING, S. 3d animated facial expression and autism in taiwan. In: IEEE. *Advanced Learning Technologies, 2008. ICALT'08. Eighth IEEE International Conference on*. [S.l.], 2008. p. 17–19.

CLARK, T. F.; WINKIELMAN, P.; MCINTOSH, D. N. Autism and the extraction of emotion from briefly presented facial expressions: stumbling at the first step of empathy. *Emotion*, American Psychological Association, v. 8, n. 6, p. 803, 2008.

DECARLO, D.; METAXAS, D.; STONE, M. An anthropometric face model using variational techniques. In: *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA: ACM, 1998. (SIGGRAPH '98), p. 67–74. ISBN 0-89791-999-8. Disponível em: (<http://doi.acm.org/10.1145/280814.280823>).

DYCK, M. et al. Recognition profile of emotions in natural and virtual faces. *PLOS One*, v. 3, n. 11, p. e3628, 2008.

EKMAN, P. *Emotions revealed: Recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life*. [S.l.]: Macmillan, 2007.

EKMAN, P.; FRIESEN, W. V. Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, American Psychological Association, v. 17, n. 2, p. 124, 1971.

EKMAN, P.; FRIESEN, W. V. Measuring facial movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, Springer, v. 1, n. 1, p. 56–75, 1976.

EKMAN, P.; FRIESEN, W. V. *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1978.

- EKMAN, P.; FRIESEN, W. V.; HAGER, J. C. Facs investigator's guide. *A human face*, 2002.
- EKMAN, P. et al. Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion. *Journal of personality and social psychology*, American Psychological Association, v. 53, n. 4, p. 712, 1987.
- FARKAS, L. *Anthropometry of the head and face*. Raven Press, 1994. ISBN 9780781701594. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=MKVpAAAAMAAJ>).
- FARKAS, L. G. *Anthropometry of the head and face in medicine*. [S.l.]: Elsevier New York, 1981.
- FARKAS, L. G.; KATIC, M. J.; FORREST, C. R. International anthropometric study of facial morphology in various ethnic groups/races. *Journal of Craniofacial Surgery*, LWW, v. 16, n. 4, p. 615–646, 2005.
- FOLEY, J. D. *Computer graphics: Principles and practice, in C*. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 1996. v. 12110.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L. *Digital image processing using MATLAB*. [S.l.]: Gatesmark Publishing Knoxville, 2009. v. 2.
- GOSELIN, P.; KIROUAC, G. et al. Decoding facial emotional prototypes. *Canadian journal of experimental psychology= Revue canadienne de psychologie experimentale*, v. 49, n. 3, p. 313, 1995.
- GRYNSZPAN, O.; MARTIN, J.-C.; NADEL, J. Multimedia interfaces for users with high functioning autism: An empirical investigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, Elsevier, v. 66, n. 8, p. 628–639, 2008.
- GUEDES, S. P. de C.; TEIXEIRA, B. V.; CATTONI, D. M. Medidas orofaciais em adolescentes do estado do rio de janeiro segundo a tipologia facial. *Revista CEFAC*, SciELO Brasil, v. 12, n. 1, p. 68–74, 2010.
- HARMS, M. B.; MARTIN, A.; WALLACE, G. L. Facial emotion recognition in autism spectrum disorders: a review of behavioral and neuroimaging studies. *Neuropsychology review*, Springer, v. 20, n. 3, p. 290–322, 2010.
- HEARN, D.; BAKER, M. P. *Computer graphics, C version*. [S.l.]: Prentice Hall Upper Saddle River, 1997. v. 2.

- HESS, U. The communication of emotion. *Emotions, qualia and consciousness*, p. 397–409, 2001.
- JR, L. S.; HART, M. H. Random gravitational encounters and the evolution of spherical systems. ii. models. *The Astrophysical Journal*, v. 166, p. 483, 1971.
- KRISHAN, K. Anthropometry in forensic medicine and forensic science- 'forensic anthropometry'. *The Internet Journal of Forensic Science*, v. 2, n. 1, 2007.
- LAHIRI, U. et al. Design of a virtual reality based adaptive response technology for children with autism. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on, IEEE*, v. 21, n. 1, p. 55–64, 2013.
- LIN, L. et al. A stochastic graph grammar for compositional object representation and recognition. *Pattern Recogn.*, v. 42, n. 7, p. 1297–1307, jul. 2009. ISSN 0031-3203.
- MOURÃO-MIRANDA, J. et al. Pattern recognition and functional neuroimaging help to discriminate healthy adolescents at risk for mood disorders from low risk adolescents. *PloS one*, Public Library of Science, v. 7, n. 2, p. e29482, 2012.
- NEWSCHAFFER, C. J.; CURRAN, L. K. Autism: an emerging public health problem. *Public health reports*, Association of Schools of Public Health, v. 118, n. 5, p. 393, 2003.
- PERISSINOTTO, E. et al. Anthropometric measurements in the elderly: age and gender differences. *British Journal of Nutrition*, Cambridge Univ Press, v. 87, n. 2, p. 177–186, 2002.
- RAMANATHAN, N.; CHELLAPPA, R.; BISWAS, S. Computational methods for modeling facial aging: A survey. *Journal of Visual Languages & Computing*, Elsevier, v. 20, n. 3, p. 131–144, 2009.
- ROCCA, C. C. d. A. et al. Facial emotion recognition in bipolar disorder: a critical review. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, SciELO Brasil, v. 31, n. 2, p. 171–180, 2009.
- ROZENBERG, G.; SALOMAA, A. *Lindenmayer systems: Impacts on theoretical computer science, computer graphics, and developmental biology*. [S.l.]: Springer-Verlag New York, Inc., 2001.

- SCHERER, K. R. Vocal communication of emotion: A review of research paradigms. *Speech communication*, Elsevier, v. 40, n. 1, p. 227–256, 2003.
- TAYLOR, S. F.; MACDONALD, A. W. Brain mapping biomarkers of socio-emotional processing in schizophrenia. *Schizophrenia bulletin*, MPRC, v. 38, n. 1, p. 73–80, 2012.
- WEEDEN, J. C.; TROTMAN, C.-A.; FARAWAY, J. J. Three dimensional analysis of facial movement in normal adults: influence of sex and facial shape. *The Angle Orthodontist*, v. 71, n. 2, p. 132–140, 2001.
- XU, Z. et al. A hierarchical compositional model for face representation and sketching. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, v. 30, n. 6, p. 955–969, June 2008.
- YANG, Y. et al. Interactive facial sketch expression generation using local constraints. In: *Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009. ICIS 2009. IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 2, p. 864–868.
- ZHU, S.-C.; MUMFORD, D. *A stochastic grammar of images*. [S.l.]: Now Publishers Inc, 2007.
- ZHU, S.-C.; MUMFORD, D. *A stochastic grammar of images*. [S.l.]: Now Publishers Inc, 2007.

Apêndice A

Generating facial emotions
using anthropometry and
formal languages for individuals
suffering from psychiatric
disorders

Apêndice B

Avaliação de desempenho do aluno

Apêndice C

Avaliação do Programa

Este documento tem por objetivo apresentar as vantagens e desvantagens vivenciadas pelo autor por meio do Programa de Iniciação Científica/PIBIC.

Após dois anos de aprendizado com a iniciação científica posso dizer que já conquistei conhecimento suficiente para me qualificar como pesquisador iniciante, porque pude compreender sobre quais são as bases que constituem uma pesquisa científica, como se organizar pessoalmente e a vantagem de um aprendizado compartilhado com meu colegas de laboratório e minha orientadora.

Durante esse projeto conquistei algo mais: o aprendizado interdisciplinar. Fui exposto a áreas que aparentemente não possuíam nada em comum, porém durante o desenvolvimento aprendi que existe um grande ganho de conhecimento quando se consegue integrar as informações contidas em campos de pesquisas bem distintos. Apesar das dificuldades de fazer com que diferentes áreas do conhecimento conversassem, acredito que esse tenha sido mais um grande ganho pessoal.

No futuro irei colher os frutos dessa capacitação na área científica, mas acredito que independentemente de eu seguir a carreira acadêmica ou não, ainda assim serei um profissional melhor graças ao que esse projeto me proporcionou.

São Paulo, 25 de julho de 2018.

Rafael Luiz Testa

Rafael Luiz Testa
Bolsista