UNIVERSIDADE FEEVALE

FÁBIO PETRY

DETECÇÃO DE PONTOS FACIAIS A PARTIR DA NORMA MPEG-4

Novo Hamburgo

2013

FÁBIO PETRY

DETECÇÃO DE PONTOS FACIAIS A PARTIR DA NORMA MPEG-4

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
à obtenção do grau de Bacharel em
Ciência da Computação pela
Universidade Feevale

Orientador: Marta Rosecler Bez
Coorientadores: Jonhy Rafael Eissmann
Luis E. Pettinari Acuña

Novo Hamburgo
2013

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que me apoiaram em todo o desenvolvimento do projeto e nesses tantos anos de curso.

Aos amigos conquistados na Universidade e a minha família, meu muito obrigado pelo apoio tão fundamental nessa conquista.

Não menos importante meu agradecimento eterno para minha orientadora e coorientadores, que me ajudaram muito neste percurso.

RESUMO

A face humana possui inúmeras particularidades quando comparada com diferentes indivíduos, essas por sua vez definem o reconhecimento de cada rosto. Na parte tecnológica as informações de cada face ainda não são utilizadas por muitos processos para a obtenção de características. Esses dados são fundamentais para a geração de novas possibilidades de sistemas. Este projeto tem como conhecimento adquirido trabalhos correlatos e o trabalho de continuação que este se refere do graduado Luis E. Pettinari Acuña. Seu propósito é a localização de pontos característicos em rostos para permitir abstrair essas características. No trabalho foram desenvolvidos diferentes fluxos de aplicações de filtros, obtendo, a partir disto, os pontos mapeados sobre os objetos nariz, olho esquerdo, olhos direito e boca. Para isso utilizou-se o padrão MPEG-4, que determina as coordenadas e identifica as características da face. Os filtros aplicados seguiram diferentes fluxos entre eles: Sobel, subtração de brilho, adição de contraste, Gradiente, Gaus, etc. Os resultados obtidos pelas técnicas utilizadas são apresentados, podendo-se observar um bom índice de identificação dos pontos característicos.

Palavras-chave: Reconhecimento Facial; Processamento de Imagens; MPEG-4.

ABSTRACT

The human face has several peculiarities when compared with different individuals, these on the other hand define the recognition of each face. In the technological part the informations of each face are not used by many processes to obtaining characteristics. These data are essential to generate new possibilities of systems. This project has the knowledge acquired by the related works and continuing work which it refers graduate Luis E. Pettinari Acuña. Its purpose is find the location of characteristic points on faces to allow these features to be abstracted. On the work was develop different streams of filter applications, obtaining from it the points mapped on objects nose, left eye, right eye and mouth. For this we used the MPEG-4 standard, which determines the coordinates and identifies the characteristics of the face. Filters applied followed different streams including: Sobel, abduction of brightness, addition of contrast , Gradient, Gaus, etc. The results obtained by the techniques used are presented and can be seen a good index identifying the characteristic points.

Key words: Facial Recognition, Image Processing, MPEG-4.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pontos FDPs e FAPs do objeto cabeça. 16

Figura 2 – Métricas do objeto cabeça. 18

Figura 3 – Detecção da face e da boca. 21

Figura 4 – A) Resultado obtido através da aplicação de gradiente; 22

Figura 5 – A) Extração da camada *red hues*; 22

Figura 6 – Resultado obtido. Sistema demarca os contornos da boca com uma linha vermelha. 23

Figura 7 – A) Rosto médio masculino; B) Rosto médio Feminino 24

Figura 8 – Rosto híbrido gerado a partir das amostras da Figura 6. 24

Figura 9 – Modelo de pontos a partir do rosto híbrido. 25

Figura 10 – Estrutura padrão dos pontos MPG-4 25

Figura 11 – Modelo final da Figura 9 e os pontos da Figura 10. 25

Figura 12 – a) Imagem original; b) Detecção dos pixels com cor semelhante à da pele; c) Limiarização da imagem (b). 28

Figura 13- a) Imagem Limiarizada; b) Perfil Horizontal; c) Perfil Vertical. 28

Figura 14 – Imagem de amostras do olho direito. Obtido direto das imagens. 30

Figura 15 – Imagem média obtida das amostras. 30

Figura 16 – Composição final das amostras de detecção dos objetos do olho direito. 30

Figura 17 – Resultado obtido pela técnica. 30

Figura 18 - Exemplos de amostras utilizadas na determinação do espaço vetorial do nariz. 31

Figura 19 - Imagem média das amostras capturadas para o nariz 31

Figura 20 - Representação do eigennoses do nariz. 31

Figura 21 - Detalhe do resultado da detecção do nariz. 31

Figura 22 – a) Região de interesse da para detecção da boca. 32

Figura 23 - b) Detecção de bordas horizontais na região da boca; c) Perfil horizontal da imagem das bordas; d) Perfil vertical da imagem das bordas. 32
Figura 24 - Detalhe do resultado da detecção da boca. 32
Figura 25 – Regiões de busca da implementação. 34
Figura 26 – Área localizada para o rosto. 37
Figura 27 – Subárea para localizar o olho direito. 38
Figura 28 – Subárea para localizar o olho esquerdo. 39
Figura 29 – Subárea para localizar o nariz. 40
Figura 30 – Subárea para localizar a boca. 41
Figura 31 – Pontos FDPs e FAPs da boca. 42
Figura 32 – Imagem resultado dos pontos horizontais da boca. 44
Figura 33 – Imagem resultado geral gerada para processar as demais imagens dos pontos verticais. 44
Figura 34 – Imagem resultado do ponto vertical/inferior, ponto 8.2 da Figura 31. 45
Figura 35 – Imagem resultado do ponto vertical/superior, ponto 8.1 da Figura 31. 45
Figura 36 – Resultados corretos obtidos. 46
Figura 37 – Resultados errados obtidos. 46
Figura 38 – Pontos FDPs e FAPs do nariz. 47
Figura 39 – Imagem resultado dos pontos 9.4, 9.5 e 9.15 da Figura 38. 48
Figura 40 – Imagem resultado dos pontos 9.1, 9.2, 9.13 e 9.14 da Figura 36. 48
Figura 41 – Resultados corretos obtidos do nariz. 49
Figura 42 – Resultados errados obtidos do nariz. 49
Figura 43 – Pontos FDPs e FAPs dos olhos. 50
Figura 44 – Imagem resultado para obter o ponto 3.12 da Figura 43. 50
Figura 45 – Imagem resultado para obter o ponto 3.8 da Figura 43. 51
Figura 46 – Imagem resultado para obter os pontos 3.10 e 3.4 da Figura 43. 51
Figura 47 – Imagem resultado para obter os pontos 3.2 e 3.14 da Figura 43. 52
Figura 48 – Resultados corretos obtidos do olho direito. 52
Figura 49 – Resultados errados obtidos do olho direito. 53

Figura 50 – Imagem resultado para obter os pontos 3.11 e 3.7 da Figura 43. 53
Figura 51 – Imagem resultado para obter os pontos 3.9 e 3.3 da Figura 43. 54
Figura 52 – Imagem resultado para obter os pontos 3.1 da Figura 43. 54
Figura 53 – Resultados corretos obtidos do olho esquerdo..... 55
Figura 54 – Resultados errados obtidos do olho esquerdo..... 55
Figura 55 – Fluxograma do processo. 56
Figura 56 – Imagem 01 - Resultados gerais. 56
Figura 57 – Imagem 02 - Resultados gerais. 57
Figura 58 – Imagem 03 - Resultados gerais. 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das métricas FAPUs 18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MPEG	*Moving Picture Experts Group*
MPEG-4	Padrão elaborado pelo MPEG
FDPs	*Face Definition Parameters*
FAPs	*Face Animation Parameters*
FAPUs	*Face Animation Parameter Units*
DFFS	*Distance From Face Space*
PCA	*Principal Component Analysis*
LANDMARKS	Pontos faciais de interesse
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
XML	Linguagem Extensível de Marcação Genérica
RGB	*Red,Green e Blue*
JPeg	Formato de imagem - *Joint Pictures Expert Group*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 12

1 O PADRÃO MPEG-4 14

1.1 Parâmetros de Definição da Face - FDPs (FACE DEFINITION PARAMETERS) 15

1.2 Parâmetros de Animação da Face - *FAPs* (*Face Animation Parameters*) 17

1.3 Unidades dos Parâmetros de Animação da Face - *FAPUs* (*Face Animation Parameter Units*) 17

1.3.1 *FAP* Interpolação 18

2 TRABALHOS CORRELATOS 20

2.1 Características de Baixo Nível 20

2.2 Análise de características 21

2.3 Casamento de padrões 23

2.4 Métodos por Aparência 26

3 PROJETO DESENVOLVIDO POR ACUÑA (2006) PARA DETECÇÃO DA FACE 27

3.1 Processos de funcionamento do sistema 27

3.2 Resultado do trabalho de origem 34

4 PROTOTIPO PROPOSTO 35

4.1 Base de dados 35

4.2 Detecção das características faciais 36

4.3 Detecção dos pontos *FDPs* 41

4.3.1 Objeto Boca 41

4.3.2 Objeto Nariz 46

4.3.3 Objeto Olhos 49

4.3.3.1 Objeto Direito 50

4.3.3.2 Objeto Esquerdo 53

4.3.4 Fluxograma do processo 55

CONCLUSÃO 58

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

ANEXOS 61

INTRODUÇÃO

Na atualidade, onde a tecnologia nos possibilita cada vez mais aplicabilidades para o nosso dia-a-dia, tornam necessárias ferramentas com capacidade de extração de informações, de forma a fomentar inovações. A informação está presente em todo o meio tecnológico, pois sem informação a tecnologia não possui serventia. A informação pode ser abstraída de diversas fontes, uma conversa, um banco de dados, um relatório, e muitas vezes uma informação é exclusiva, como é o caso de uma impressão digital humana. Neste contexto, concentra-se o tema deste trabalho, que é a extração de características faciais como forma de obter as informações que cada pessoa possui pelo formato de seu rosto. A extração de características faciais proporciona demandar novos conceitos com relação a busca por características, geração de produtos customizados para cada cliente, etc. A detecção de pontos faciais parte como origem para se obter as características de rostos de forma organizada e padronizada.

A detecção de pontos viabiliza a obtenção dessas informações, de forma que com pontos organizados e distribuídos em um padrão, seja possível conseguir os detalhes característicos a serem extraídos da face. O padrão adotado para esta organização é o MPEG-4, método estabelecido no mercado com uma ótima definição dos pontos a serem localizados e gerados.

O padrão *MPEG-4* foi desenvolvido pelo grupo *MPEG* (*Moving Picture Experts Group*), sendo utilizado na modelagem para obter os dados sobre as imagens. Este padrão é definido como base de conhecimento para estruturação e funcionamento de codificações.

O foco do projeto foi definido na continuação do projeto de Acuña (2006), que gerou um protótipo capaz de localizar uma face em uma imagem. Como objetivo do projeto, estabeleceu-se a localização de pontos em especifico a partir da modelagem do rosto existente já no padrão adotado. Os pontos foram escolhidos a partir de sua importância na delimitação dos objetos e por localização nos testes, com o propósito de gerar uma forma de extrair as características faciais a partir dos pontos localizados, e futuramente uso destas informações em processos que se adéquem a este meio. Um exemplo disso é a busca por identificação de faces em um banco de imagens, a partir de uma imagem de origem, esse processamento permite localizar o(s) objeto(s) através das informações contidas nas próprias imagens.

Este trabalho esta dividido em quatro capítulos, onde no primeiro está o tema da modelagem da face. Neste capítulo é detalhado o padrão escolhido para abranger no projeto, nomeado de MPEG-4, sua abordagem e fundamentação, juntamente com a ilustração da distribuição dos pontos. No segundo capítulo são descritos os trabalhos correlatos, onde são descritos técnicas existentes no mesmo contexto do projeto, de forma a possibilitar a fundamentação teórica e analítica de outras abordagens no mesmo meio. No terceiro capítulo é detalhado o funcionamento do projeto de Acuña (2006), trabalho de continuação, que este trabalho se baseou. Nesta seção é detalhado o funcionamento do *software* criado, a partir das técnicas elaboradas. No quarto capítulo é descrito o protótipo desenvolvido, contendo os objetos, demarcação dos pontos localizados e análise dos resultados, seguido das considerações finais.

1 O PADRÃO MPEG-4

Para o projeto adotou-se a utilização do padrão *MPEG-4*, padrão utilizado pela sua normalização dos pontos sobre a face humana. Os pontos são necessários para extrair as características do rosto, fonte de informações objetivadas no trabalho, necessárias para a geração de novos mecanismos baseados nos dados coletados. Na parte da literatura, utilizou-se para aprofundamento teórico o padrão MPEG-4, o projeto de continuação deste trabalho desenvolvido por Acuña (2006) e os trabalhos correlatos, trabalhos atuais com processamento de imagens.

O padrão *MPEG-4* foi desenvolvido pelo grupo *MPEG* (*Moving Picture Experts Group*) e é utilizado como uma forma de modelar e utilizar as propriedades obtidas de uma imagem. É considerada a base da estruturação e funcionamento atual no âmbito das codificações de imagens, visto que, é um dos primeiros padrões de codificação audiovisual que se utiliza de informações em diferentes partes da cena (utilizando o conceito de objetos). O uso da cena em objetos torna real a possibilidade de analisar de forma separada cada uma das partes das imagens.

O padrão *MPEG* (*Moving Picture Experts Group*) possui como característica particular a agregação de funcionalidade a partir dos padrões já estabelecidos, ou seja, os padrões que são elaborados posteriormente, que sejam da área do MPEG-4, irão utilizar os conceitos já estabelecidos e testados dos padrões anteriores. Este comportamento possibilita uma agregação de conhecimento, bem como, um reaproveitando das atividades já realizadas.

A partir da modelagem das propriedades, características obtidas da imagem, é possível representar a estrutura em qualquer objeto poligonal, tornando viável, dessa forma, recriar os objetos analisados com base em suas informações. A animação dos objetos também é possível, movendo-os a partir de informações de comportamento já estabelecidas, utilizando-se as propriedades obtidas (WALSH; SÉVENIER, 2002).

No *MPEG*-4 é definida a forma de modelar todo o corpo humano. Nele são divididos a cabeça e o restante de um corpo em diferentes objetos (ACUÑA, 2006). Na parte da cabeça, são utilizados 4 componentes para definir as propriedades, entre eles, os principais são: *FDP* (*Face Definition Parameters*), *FAP (Face Animation Parameters)* e *FAPU (Face Animation Parameter Units).* Um maior detalhamento dos componentes é apresentado nas próximas seções.

1.1 Parâmetros de Definição da Face - FDPs (FACE DEFINITION PARAMETERS)

No objeto cabeça, o *FDP* demarca pontos predefinidos da cabeça, para delimitar os pontos de cada um dos seus componentes. Os pontos *FDPs* são a origem para os demais, visto que, a partir deles, são definidos os outros, e possuem os *FAPs* como subconjunto de pontos. Na Figura 1 é demarcada a relação de eixos e também locais e tipos de cada um dos pontos. Os pontos são ilustrados com círculos abertos e pontos com círculos fechados. Os abertos não são utilizados para a animação da face, mas apenas pelos parâmetros *FDPs* e servem como origem para encontrar os demais pontos. Já os pontos com círculos fechados são utilizados para animação (rotação ou translação), são utilizados para os parâmetros *FAPs* (WALSH; SÉVENIER, 2002).

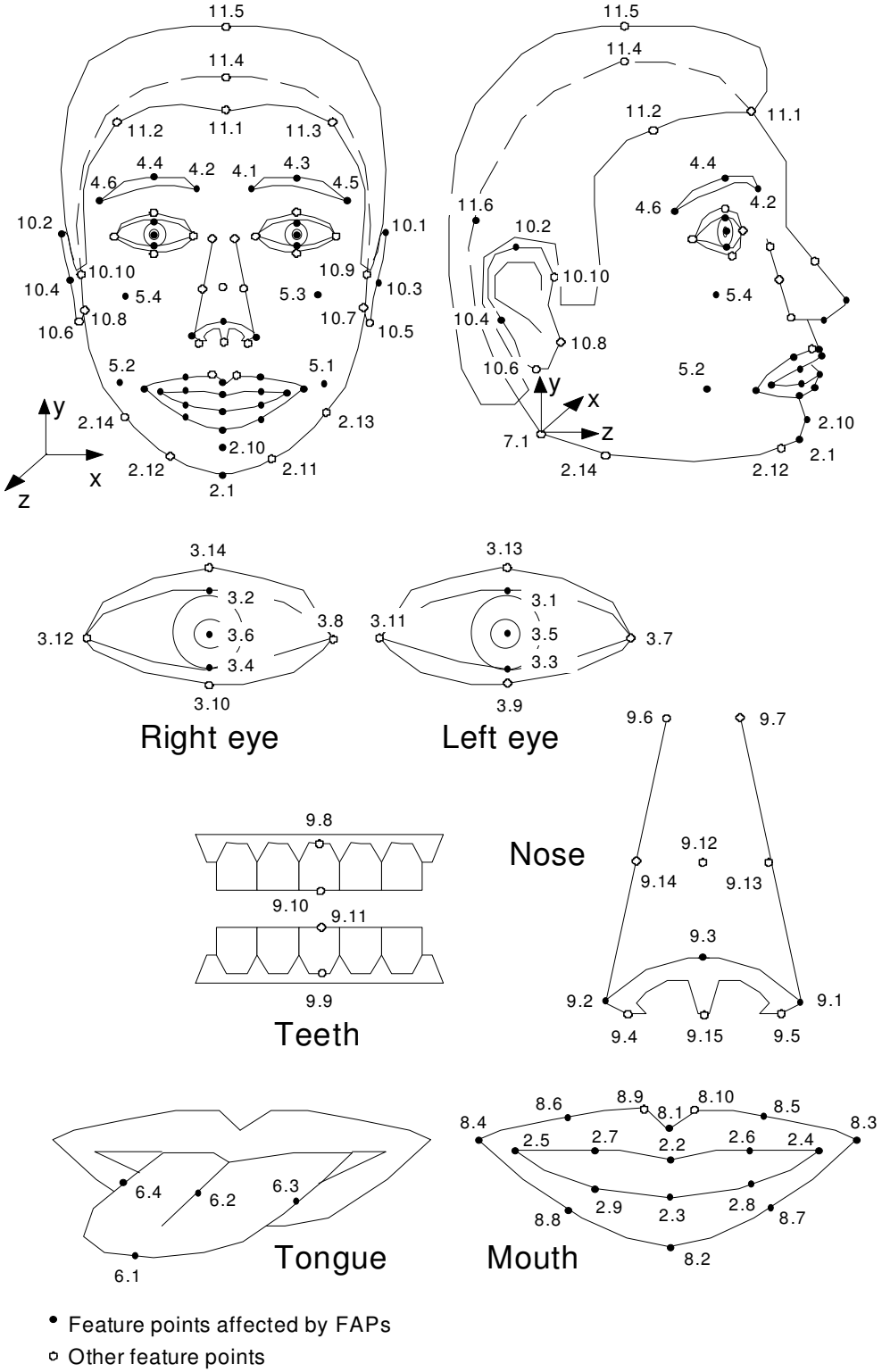

Figura 1 – Pontos FDPs e FAPs do objeto cabeça.

Fonte: WALSH; SÉVENIER (2002).

No Anexo B é utilizada como orientação para localizar cada uma das propriedades demonstradas na Figura 1, baseando-se nos eixos X, Y e Z. Os dados do Anexo B permitem demarcar de forma específica o local onde cada um dos pontos deve ser encontrado.

Para isso, ela é definida através dos Pontos Característicos (*Features Points*), a Descrição (*Text Description*) e o Posicionamento (*Recommended Location Constraints*) aproximado da localização de cada uma das propriedades.

1.2 Parâmetros de Animação da Face - *FAPs* (*Face Animation Parameters*)

Os pontos *FAPs* são obtidos através da localização dos pontos *FDPs*, de forma à obter a normalização dos demais pontos do rosto. Esses parâmetros permitem definir a alteração da rotação da face ou da translação através dos pontos obtidos (WALSH; SÉVENIER, 2002). Através da movimentação dos *FAPs,* é possível manipular a face, de forma que, como resultado obtido dessas alterações, sejam obtidas diferentes expressões sobre o rosto.

Os *FAPs* possuem uma tabela que define cada um dos pontos, o sentido em que podem ser animados, os valores que podem ser alterados para o movimento (máximo e mínimo), entre outras informações. No Anexo A, é demonstrada a lista completa dos pontos *FAPs* e suas informações.

1.3 Unidades dos Parâmetros de Animação da Face - *FAPUs* (*Face Animation Parameter Units*)

As unidades dos parâmetros são utilizadas como métricas das distâncias de cada uma das propriedades em específico, de forma que cada uma possua sua própria definição de espaçamento. Na tabela 1, é apresentada a nomenclatura utilizada, como o nome para cada uma das métricas, os pontos a serem medidos, a descrição e o seu valor.

Tabela 1 – Descrição das métricas FAPUs

FAPU	FDPs	DESCRIÇÃO	VALOR FAPU
IRISDO	3.1y – 3.3.y = 3.2.y – 3.4.y	Diâmetro da íris	IRISD = IRISD0 / 1024
SESO	3.5.x – 3.6.x	Separação dos olhos	ES = ES0 / 1024
ENSO	3.5.y – 9.15.y	Separação entre os olhos e o nariz	ENS = ENS0 / 1024
MNSO	9.15.y – 2.2.y	Separação entre a boca e o nariz	MNS = MNS0 / 1024
MWO	8.3.x – 8.4.x	Largura da boca	MW = MW0 / 1024
AU		Unidade angular	AU = 10-5 rad

Fonte: ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (1998).

Na Figura 2, é exibida digitalmente a localização das métricas sobre a face.

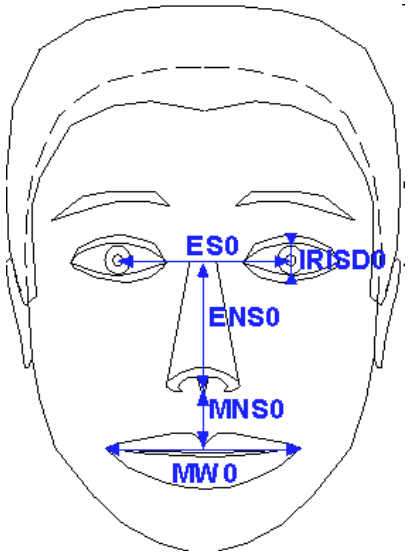

Figura 2 – Métricas do objeto cabeça.

Fonte: WALSH; SÉVENIER (2002).

1.3.1 *FAP* Interpolação

A animação das faces é uma tarefa complexa, uma vez que muitos aspectos podem interferir na estrutura. Alguns problemas relacionados as interferências são:

- Face rotacionada dificulta a obtenção das características, visto que em geral apenas uma parte dela pode ser observada.
- Expressões variadas, tais como: alegria, tristeza, raiva, etc. São movimentos complicadores para a determinação dos pontos do rosto.

- Movimentação dos olhos e boca: a variação de movimentos são adições para delimitá-los.

Para que seja delimitada inicialmente a estrutura do rosto, é utilizada uma face neutra para a obtenção das informações quanto à disposição dos pontos do rosto analisado. A definição de uma face neutra é apresentada a seguir (WALSH; SÉVENIER, 2002):

- Estrutura da cabeça sem movimentação de eixo, mantendo a mesma reta;
- Musculatura relaxada, sem alterações da face por movimentos dos músculos;
- O foco dos olhos deve ser o frontal ao eixo Z;
- As pálpebras devem estar abertas;
- A íris deve manter dois terços do espaço sobre a pupila;
- Na parte da boca, os lábios devem estar fechados;
- A parte inferior do lábio deve estar sem expressão, mantendo-se na horizontal e tendo como referencia, na altura, a boca sobre os seus cantos;
- Na parte interior da boca, os dentes devem estar em contato;
- A língua deve manter-se sem movimentação, na horizontal e com o seu limite em contato com os dentes.

A partir do padrão MPEG-4, estabeleceu-se, através das informações e normas, os objetivos, bem como, a delimitação sobre os pontos a serem abordados neste trabalho. Com a definição dos pontos, a estruturação de processos e filtros com o intuito de localização dos mesmos, torna-se necessária. No capítulo a seguir são apresentados trabalhos correlatos para localização de características da face.

2 TRABALHOS CORRELATOS

Esta seção aborda os conceitos de técnicas já elaborados em outros trabalhos, a fim de conhecer conceitualmente as que são aplicadas atualmente.

2.1 Características de Baixo Nível

São métodos que tem por objetivo detectar a face e suas características, se utilizando de aspectos como forma, luminância, cor e textura. Os métodos de extração por bordas se utilizam de informação prévia para que, através das bordas, seja possível determinar os contornos que delimitem o rosto, olhos, cabelo, sobrancelhas, nariz e boca.

A aplicação de processos que se utilizam de métodos sobre características de baixo nível, fazendo uso de conhecimento prévio, encontram-se em Craw; Tock; Bennett (1992) apud Acunã (2006) e em Silva; Schnitman; Oliveira (2012), onde é utilizado o filtro de bordas de Canny para localizar os limites dos objetos que fazem parte do rosto, como olhos, cabelos, entre outros.

Em Silva; Schnitman; Oliveira (2012) teve-se como objetivo a localização de *landmarks* (pontos faciais de interesse), que são pontos do rosto, a partir de imagens. O filtro de Canny é a abordagem utilizada para extrair as bordas dos objetos do rosto no referido trabalho. A seguir, apresenta-se a descrição dos processos utilizados por esses autores:

1. Uso da técnica de equalização do histograma, a fim de padronizar os níveis de cinza;

2. Como técnica de suavização das características foi utilizado o filtro de Gaus;

3. Ajuste do contraste;

4. Uso de limiar e operações morfológicas;

5. Aplicação do filtro de canny.

A aplicação de processos que se utilizam de métodos sobre características de baixo nível por textura e cor, fazendo uso de conhecimento prévio, encontra-se em Senior (1999) apud Acunã (2006), Jin et al (2007) apud Gouveia (2010), Zapata e Ruiz (2007) apud Gouveia (2010) entre outros. Os autores utilizam diversos métodos de detecção, tendo como princípio básico que a cor da pele forma um aglomerado denso no espaço de cores de uma imagem.

2.2 Análise de características

São métodos que tem por objetivo analisar as características obtidas através do processamento de métodos de baixo nível. O seu uso prático tem a finalidade de validar as informações obtidas ou determinar o local em que devem ser localizadas.

A aplicação de processos que se utilizam de métodos sobre análise de características, fazendo uso de conhecimento prévio, encontra-se em Nikolaidis; Pitas (2000) apud Acunã (2006) e Nayak; Bushong (2012) que abordam o uso de técnicas de identificação com base em contornos ativos para modelar os objetos escolhidos.

Nayak; Bushong (2012) fazem uso da técnica de contornos ativos, definida através do uso de *snakes* (denominação relacionada ao uso de bordas que podem ser remodeladas). Sua abordagem objetiva a delimitação das bordas da boca. Para conseguir utilizar as *snakes,* o autor, inicialmente, faz uso de algumas técnicas para destacar apenas o contorno do objeto que ele deseja. Desta forma, ele pode alterar o valor de energia externo da área, fazendo com que os contornos ativos possam se adequar a forma do objeto. Segue o resultado das etapas do seu sistema.

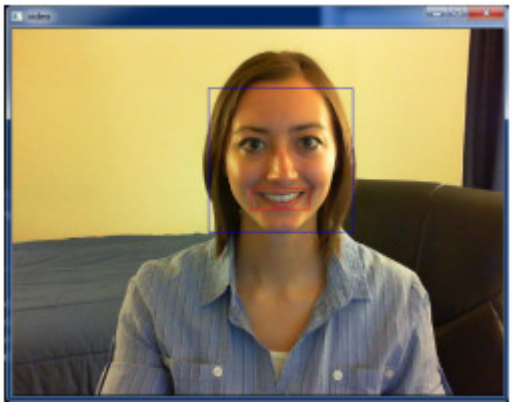

Figura 3 – Detecção da face e da boca.

Fonte: NAYAK.; BUSHONG (2012).

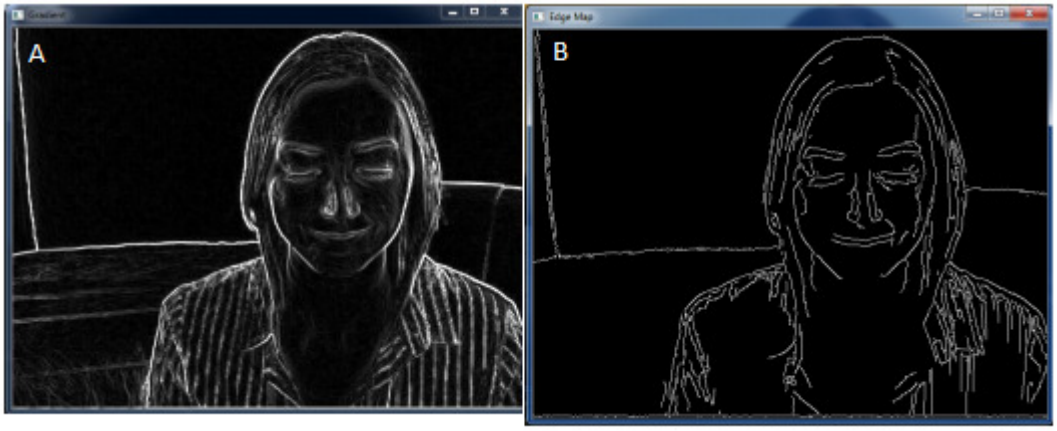

Figura 4 – A) Resultado obtido através da aplicação de gradiente;

B) Resultado obtido através do filtro de Canny.

Fonte: NAYAK; BUSHONG (2012).

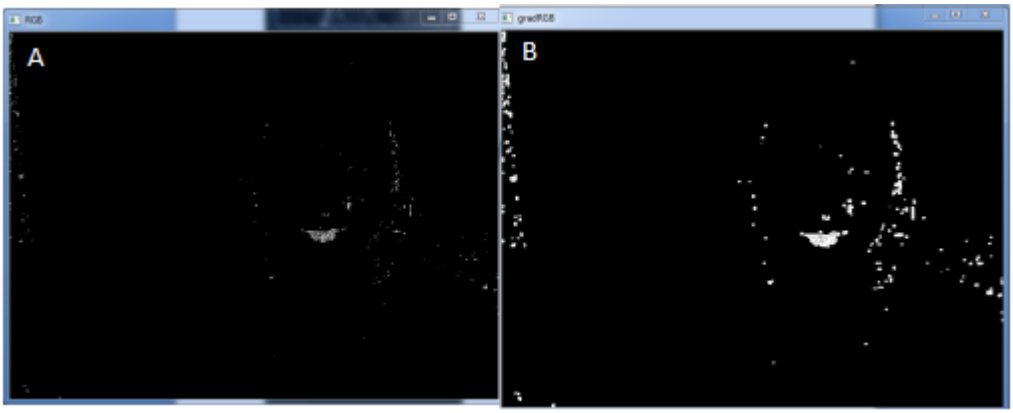

Figura 5 – A) Extração da camada *red hues*;

B) Aplicação de gradiente sobre a imagem A.

Fonte: NAYAK; BUSHONG (2012).

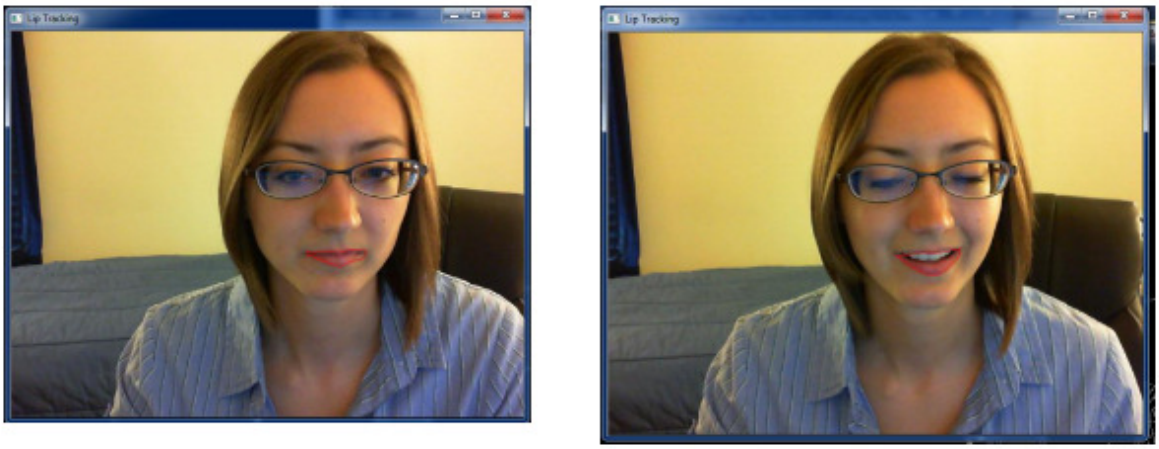

Figura 6 – Resultado obtido. Sistema demarca os contornos da boca com uma linha vermelha.

Fonte: NAYAK; BUSHONG (2012).

2.3 Casamento de padrões

São métodos que tem por objetivo fazer uso de modelos pré-definidos, de forma a possibilitar a estruturação básica da face humana e seus pontos de características. Os modelos são utilizados como pontos a ser relacionados aos objetos reconhecidos, possibilitando a correlação com a imagem.

A aplicação de processos que se utilizam de métodos sobre o casamento de padrões, fazendo uso de modelos, encontra-se em Scasselatti (1998) apud Acunã (2006), Rosário (2008), Silva; Schnitman; Oliveira (2012) que utilizaram em suas aplicações moldes de faces humanas para estabelecer os procedimentos a serem adotados, como, por exemplo, o estabelecimento de vetores com o objetivo de demarcar as coordenadas das características faciais (ROSÁRIO, 2008).

Rosário (2008) faz uso de fusão modelos de rostos médios, para que, a partir de um modelo único de rosto, possa aplicar informações relevantes à detecção das características. Na definição das características são estabelecidos os parâmetros gerais a face frontal, e também é definida a adaptação do modelo para delimitar os olhos, nariz e boca. A seguir o modelo é adaptado para localização das características.

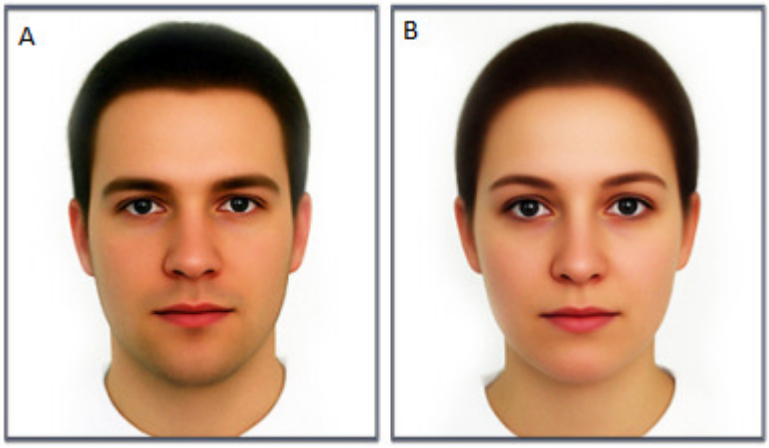

Figura 7 – A) Rosto médio masculino; B) Rosto médio Feminino.

Fonte: ROSÁRIO (2008).

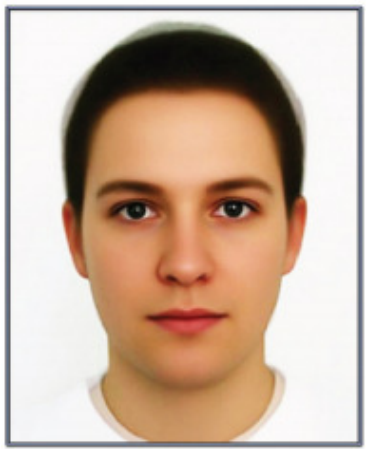

Figura 8 – Rosto híbrido gerado a partir das amostras da Figura 6.

Fonte: ROSÁRIO (2008).

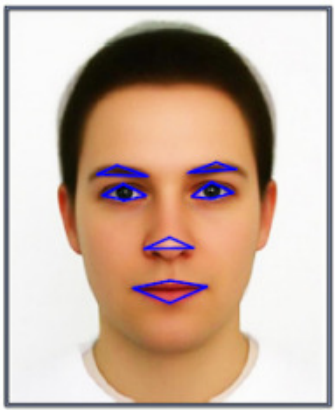

Figura 9 – Modelo de pontos a partir do rosto híbrido.

Fonte: ROSÁRIO (2008).

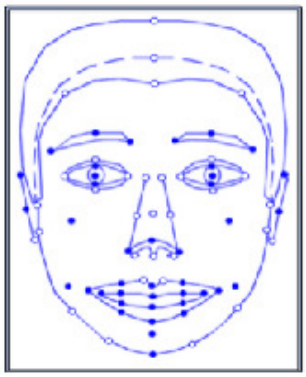

Figura 10 – Estrutura padrão dos pontos MPG-4.

Fonte: ROSÁRIO (2008).

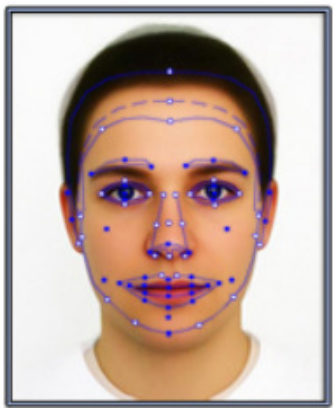

Figura 11 – Modelo final da Figura 9 e os pontos da Figura 10.

Fonte: ROSÁRIO (2008).

2.4 Métodos por Aparência

São métodos que utilizam características faciais baseados em aparência. É necessário conhecimento prévio para o seu funcionamento e, portanto, é necessário efetuar o treinamento do sistema para obter modelos a serem adotados em seu funcionamento.

A aplicação de processos que se utilizam de métodos por aparência, fazendo uso de modelos, encontra-se em Rowley; Baluja; Kanade (1998) apud Acunã (2006) e Gouveia (2010), onde é apresentado o uso de redes neurais para pré-processamento na imagem e na identificação de faces. As redes são utilizadas como processamento na identificação, mas também são utilizadas na detecção de pontos de interesse, de forma a filtrar os objetos a serem avaliados.

Entre os processos baseados em aparência, um dos principais métodos é a Análise de Componentes Principais (PCA). Este processo, que necessita de treinamento, se baseia no uso de amostras dos pontos objetivos para que, através de informações retiradas dos mesmos, seja comparada a imagem de origem para determinar a localização de um ponto semelhante ou não em relação aos dados da amostra. Este tipo de aplicabilidade pode ser encontrado em Acunã (2006) e Rosário (2008).

A partir das técnicas de detecção do rosto e objetos pertencentes a face, é possível a criação de novos sistemas, a fim de melhorar e aprimorar as formas com que os sistemas computacionais funcionam neste âmbito. Com esse objetivo, foi criado o trabalho que deu origem a este, que possui algumas das técnicas existentes, para gerar como resultado a definição da existência ou não de um rosto na imagem de origem e a localização dos objetos da face.

3 PROJETO DESENVOLVIDO POR ACUÑA (2006) PARA DETECÇÃO DA FACE

Este capítulo apresenta o sistema original, que este projeto tem como base de conhecimento e dará continuidade (Acuña, 2006). As etapas já estabelecidas no trabalho por Acuña (2006) são apresentadas a seguir.

3.1 Processos de funcionamento do sistema

O sistema proposto por Acuña (2006) utiliza os fundamentos dos padrões de filtragens explicados na seção 2, com o objetivo de detectar uma face presente na imagem e, posteriormente, a identificação de alguns pontos *FDPs*. Para delimitar o funcionamento do sistema, o autor utilizou as seguintes regras:

As imagens sempre contêm uma e somente uma face;

A face corresponde a uma face neutra, como definido na seção 1.1.4;

O fundo da imagem é homogêneo;

A iluminação é frontal e difusa.

Para os testes foram utilizadas imagens com ambiente de fundo homogêneo, da cor verde, e iluminação com lâmpadas fluorescente e uma lâmpada incandescente, de 100W, disposta à 1,5m da pessoa, na sua frente. Para a captura foi utilizada uma máquina fotográfica digital, do tipo Sony DSC-T5, com imagens JPeg de tamanho 640 x 480.

De cada pessoa foram adquiridas três fotos, conforme segue: face frontal, expressão neutra, iluminação controlada; face frontal, expressão "alegre", iluminação controlada; face rotacionada cerca de 30º graus à direita da pessoa, expressão neutra.

Para a detecção do rosto utilizou-se um método baseado na cor da pele. O sistema detecta o rosto seguindo duas etapas: na primeira são delimitados os *pixels* semelhantes à cor da pele; na segunda, são definidos os limites da área encontrada.

Na detecção da cor da pele é estabelecida a fase de treinamento que delimita a áreas de interesse, através da interação de um usuário. Na interação, o usuário se utiliza do mouse e indica na figura o local com a informação quanto a cor da pele. Após são calculadas as camadas R e B, utilizando-se do valor encontrado nas camadas correspondentes dividido pela

soma dos *pixels* das 3 camadas. O resultado deste processo é a definição de um limiar que será utilizado na imagem como um "filtro". Este processo segue como regra que a cor da pele não varia muito e, portanto, forma um aglomerado referente a cor da pele.

O processo dessa detecção tem continuidade percorrendo *pixel* à *pixel* sobre a imagem, determinando, através do limiar encontrado no treinamento, as áreas que possuem o "tom" de pele. As áreas de interesse são alteradas para o valor 255 (claro) e é colocado o valor 0 (escuro) para as demais áreas. O processo de detecção da cor da pele é ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – a) Imagem original; b) Detecção dos pixels com cor semelhante à da pele; c) Limiarização da imagem (b).

Fonte: ACUÑA (2006).

Na detecção dos limites do rosto, o sistema localiza a cabeça utilizando o perfil horizontal e vertical. O perfil é um vetor com a quantidade de *pixels* com o "tom" da pele. Na horizontal representam-se as informações das colunas e na vertical das linhas. Na Figura 13 é demonstrada a aplicabilidade desta detecção.

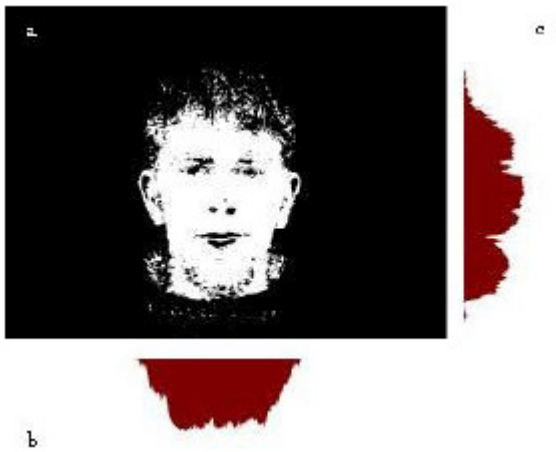

Figura 13- a) Imagem Limiarizada; b) Perfil Horizontal; c) Perfil Vertical.

Fonte: ACUÑA (2006).

Para determinar os limites laterais do rosto, é utilizado o maior valor encontrado no perfil horizontal. É estabelecido um valor, definido a partir da amostra de testes, que represente uma porcentagem do valor máximo. O lado esquerdo do rosto é definido partindo da posição de início, e é demarcado quando o valor do histograma esteja entre o valor definido e o maior valor encontrado. O lado direito segue o mesmo procedimento, porém, é demarcado a partir do final para o início.

Para a detecção dos olhos foi utilizada uma variação entre filtros de bordas e outros métodos. A partir do uso desses métodos não foi encontrado nenhum resultado satisfatório, por isso adotou-se *PCA* (*Principal Component Analysis*). O uso desta técnica tem por objetivo encontrar características específicas que sejam comuns entre as imagens, possibilitando delimitar os olhos, e o espaço entre eles.

O treinamento para detectar os olhos é estabelecido a partir da determinação, por parte de um usuário, sobre o centro da área desejada, neste caso, o centro do olho. Após é estabelecida uma nova imagem com o ponto selecionado. A seguir, é encontrada a média entre todas as imagens geradas pelo treinamento. O processo se utiliza da soma dos *pixels* no mesmo ponto das imagens dividido pelo total de amostras. Como processo intermediário, são determinados os "eigeneyes[1]", representações resultantes das amostras. Elas são geradas a partir do conjunto de vetores ponderados das imagens de amostras originais.

A detecção dos olhos é estabelecida após o treinamento e após o processo de *PCA*. Aplicou-se um método que se utiliza do princípio da distância ao espaço das características (*DFFS*). O processo basicamente percorre toda a imagem, separando amostras do tamanho utilizado no treinamento. Calcula-se a diferença entre a imagem a ser analisada e a sua projeção em cima das imagens de "eigeneyes". Quando essas linhas pertencerem ao plano, a diferença entre as projeções é 0. Desta forma, é possível estabelecer quando a imagem possui um olho em sua estrutura.

[1] A denominação "eigeneyes" representa os vetores dos olhos.

Figura 14 – Imagem de amostras do olho direito. Obtido direto das imagens.

Fonte: ACUÑA (2006).

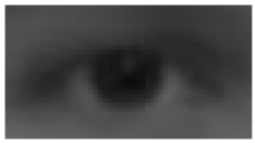

Figura 15 – Imagem média obtida das amostras.

Fonte: ACUÑA (2006).

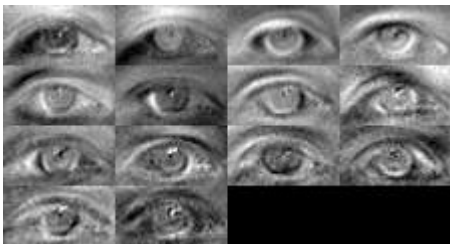

Figura 16 – Composição final das amostras de detecção dos objetos do olho direito.

Fonte: ACUÑA (2006).

Figura 17 – Resultado obtido pela técnica.

Fonte: ACUÑA (2006).

A detecção do nariz segue o mesmo processo utilizado na detecção dos olhos, utilizando-se dos métodos de *PCA* e *DFFS*. A única diferença é a região da face para o treino,

bem como das imagens resultantes ("eigennoses[2]"). A seguir são demonstradas imagens do processo de detecção do nariz.

Figura 18 - Exemplos de amostras utilizadas na determinação do espaço vetorial do nariz.

Fonte: ACUÑA (2006).

Figura 19 - Imagem média das amostras capturadas para o nariz.

Fonte: ACUÑA (2006).

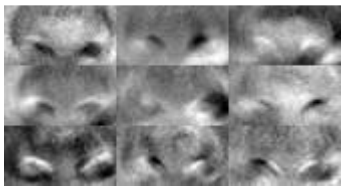

Figura 20 - Representação do eigennoses do nariz.

Fonte: ACUÑA (2006).

Figura 21 - Detalhe do resultado da detecção do nariz.

Fonte: ACUÑA (2006).

[2] A denominação "eigennoses" representa o vetor do nariz.

Na detecção da boca é utilizada uma área de interesse determinada através da orientação quanto aos pontos já encontrados dos olhos e nariz. Após delimitar a área de interesse, é utilizada a componente horizontal, já limiarizada. É determinada a coordenada *y,* pelo maior valor encontrado no perfil vertical, enquanto que a coordenada *x* é determinada por 10 *pixels* acima e 10 *pixels* abaixo a partir do centro da boca. As coordenadas são utilizadas para definir o centro da boca em relação às duas informações. Após, é determinado o componente horizontal da nova área, a qual determinará os limites da boca. A seguir são demonstradas imagens do processo de detecção sobre o objeto boca nas figuras 22, 23 e 24.

Figura 22 – a) Região de interesse da para detecção da boca.

Fonte: ACUÑA (2006).

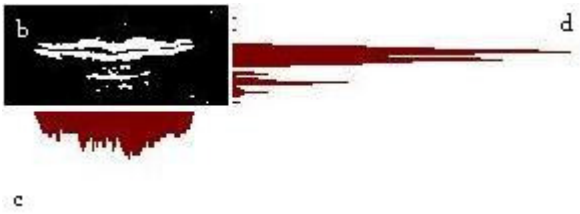

Figura 23 - b) Detecção de bordas horizontais na região da boca; c) Perfil horizontal da imagem das bordas; d) Perfil vertical da imagem das bordas.

Fonte: ACUÑA (2006).

Figura 24 - Detalhe do resultado da detecção da boca.

Fonte: ACUÑA (2006).

Para o funcionamento do sistema é utilizado um arquivo para armazenar as informações obtidas no treinamento. Na implementação desenvolvida, o processo de detecção da face se inicia localizando o rosto e o nariz. A utilização deste processo apresentou dois problemas: o tempo necessário para localizar a face e a taxa negativa na identificação dos objetos do rosto, ou seja, identificação de falsos positivos sobre os olhos, nariz e boca.

Para corrigir o primeiro problema, foi reduzido o tamanho da imagem de origem e as amostras para um tamanho que possibilitasse um melhor desempenho e, ao mesmo tempo, não prejudicasse a qualidade das imagens. O tamanho encontrado empiricamente foi de 21x12 *pixels*. Para realizar o redimensionamento das imagens foi estabelecida uma rotina que "cobrisse" as estruturas com uma camada de células. É então criada uma nova imagem estabelecendo os padrões cobertos pela nova camada, de forma que, ao analisar *pixels* cobertos por uma célula, é medido o valor médio entre os *pixels* para obter um valor aproximado aos valores originais.

Para o segundo foi estabelecida uma área de busca para cada uma das partes. A primeira parte detectada foi o nariz. A área delimitada pela busca utiliza-se:

Pela esquerda e pela direita, dos limites do rosto;

Por cima, de metade da largura da área total do rosto considerado logo abaixo do limite superior da área do rosto;

Por baixo, 130% da largura da região total do rosto considerados logo abaixo do limite superior do rosto.

A área de busca pelo olho direito é delimitada por cima pelo limite superior do rosto, por baixo pela variável *y* do nariz, na esquerda pelo limite do rosto e na direita pela variável *x* do nariz. A área de detecção do olho esquerdo foi limitada por cima e por baixo igual ao olho direito, na esquerda pela variável *x* do nariz e na direita pelo limite do rosto.

Por último, a localização da boca, que teve como área limitada por cima por 40% da distância entre os olhos e o nariz (considerado logo depois de terminar o nariz), pela direita e esquerda por 20% da distância entre os olhos, considerados respectivamente e abaixo pela distância entre a linha dos olhos e o nariz (considerado logo depois do limite superior). Na Figura 25, são visualizadas as regiões de busca das partes do rosto.

Figura 25 – Regiões de busca da implementação.

Fonte: ACUÑA (2006).

3.2 Resultado do trabalho de origem

O acerto para o processo foi de aproximadamente 95% (35 de 37 imagens avaliadas). Os problemas encontrados nas duas imagens ocorreram por falha na detecção do olho esquerdo.

4 PROTOTIPO PROPOSTO

Esta seção apresenta o protótipo proposto, a fim de processar as características da face, com base nos pontos do padrão MPEG-4, apresentado no capítulo 1, se utilizando das técnicas estudadas no projeto de Acuña (2006) no capítulo 3 e trabalhos correlatos capítulo 2. As imagens analisadas apresentam:

- Face neutra (seção 1.3.1);
- Imagens com uma única face;
- Fundo homogêneo;
- Luz frontal.

A seção estruturalmente esta organizada de forma a demonstrar a linguagem utilizada no desenvolvimento/ambiente, base de imagens utilizada nos testes de detecção das características, pontos dos objetos e resultados.

Para o ambiente/linguagem foi utilizado a linguagem C Sharp a partir do IDE Visual Studio com o projeto em *windows forms*. A escolha pelo ambiente deve-se ao uso da biblioteca na localização dos objetos e a particularidade no uso do autor com a tecnologia.

Os filtros aplicados tiveram como fase de pré-teste o ambiente do Digital Image[3] (RUDIAS, 2013), aplicativo web elaborado com ferramentas de filtragem. O processamento nesta ferramenta disponibiliza para o usuário o resultado em camadas, de forma a disponibilizar a avaliação dos resultados das rotinas por partes. A ferramenta disponibiliza parte da codificação e alguns dos parâmetros utilizados no projeto, como o limiar de alguns dos processos.

4.1 Base de dados

Foram utilizadas 14 imagens para os testes, todas retiradas do trabalho de Acuña (2006). As imagens selecionadas correspondem a expressões neutras de 11 homens e 3 mulheres.

[3] Software para aplicação de filtragens em camadas, acessado no endereço: digitalimage.2dweb.com.br

4.2 Detecção das características faciais

A face foi subdividida em objetos: rosto, olho direito, olho esquerdo, nariz e boca. Os objetos foram detectados separadamente e analisados de forma independente a partir do uso de biblioteca EMGU CV na versão 2.4.0.1717, disponível no site http://www.emgu.com/. A biblioteca foi utilizada para processar o mesmo resultado de saída obtido pelo protótipo de Acuña (2006), desta forma, o processo que gera o retorno dos objetos não necessitou de maiores alterações, uma vez que, retornou as partes da face sem outros complicadores mantendo assim o foco no processo pós-localização dos objetos que é o foco deste trabalho.

Viola e Jones (2004) desenvolveram um método capaz de detectar objetos desejados a partir de classificadores fracos, variações de informações baseadas em diferentes estruturas de retângulos, e o uso de classificados em cascata. A partir deste processo são obtidos arquivos no formato XML com informações positivas e negativas sobre o objeto pretendido e, posteriormente, utilizados para localizar as características armazenadas em imagens. A biblioteca processa as imagens com o auxílio dos arquivos XML baseados na estrutura em cascata de Viola e Jones (2004).

O uso da biblioteca EMGU CV segue o mesmo processamento para todos os objetos, apenas alterando a base de informações, arquivo XML. Os arquivos utilizados no processo de reconhecimento dos objetos da face foram obtidos por *download* na internet, no site: https://github.com/Itseez/opencv/tree/master/data/haarcascades.

No uso da biblioteca, a área de busca dos objetos foi baseada em subáreas sobre o objeto rosto, de forma a limitar falsos positivos. As subáreas de busca foram estruturadas a partir dos testes nas imagens. A seguir apresenta-se a subdivisão do rosto para localização dos demais objetos com os arquivos classificados utilizados no projeto:

Para o objeto rosto, o arquivo utilizado foi o “haarcascade_frontalface_default.xml”, sem a utilização de limitação de área. Na Figura 26 é ilustrado o resultado da aplicação do processo sobre o arquivo XML em toda a imagem. A seleção demarcou a área da face detectada.

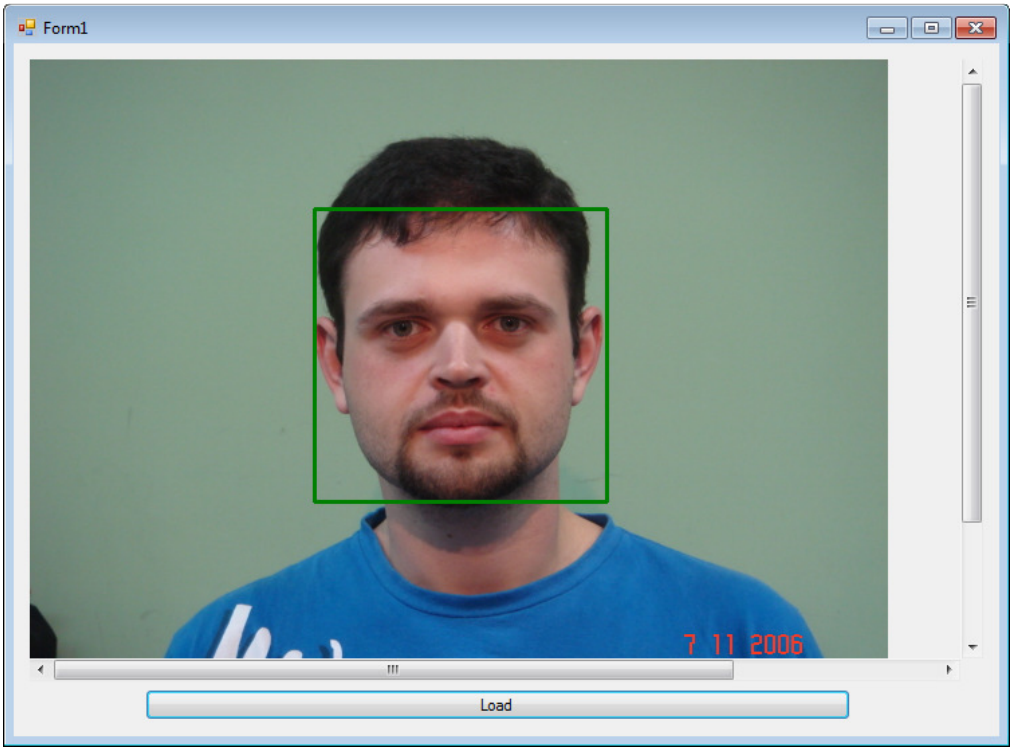

Figura 26 – Área localizada para o rosto.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os olhos optou-se por subdividir em dois objetos, uma vez que o uso de um arquivo único para os objetos, bem como a área superior da face como busca, ocasionava muitos falsos positivos. O arquivo utilizado para o olho direito foi o "haarcascade_mcs_righteye.xml" e para o olho esquerdo foi o "haarcascade_mcs_lefteye.xml". Ambos foram limitados na sua respectiva área de busca apresentadas nas Figuras 27 e 28.

Para o objeto do olho direito, a imagem inicialmente foi subdivida sobre a área do rosto em duas partes ao meio da altura (linha horizontal). A linha que divide a metade do rosto foi utilizada como limite inferior da área de busca deste objeto. O centro da imagem (meio da largura do rosto considerando a linha vertical) é utilizado como lado a esquerda e os limites a direita e superior se baseiam na área do objeto rosto.

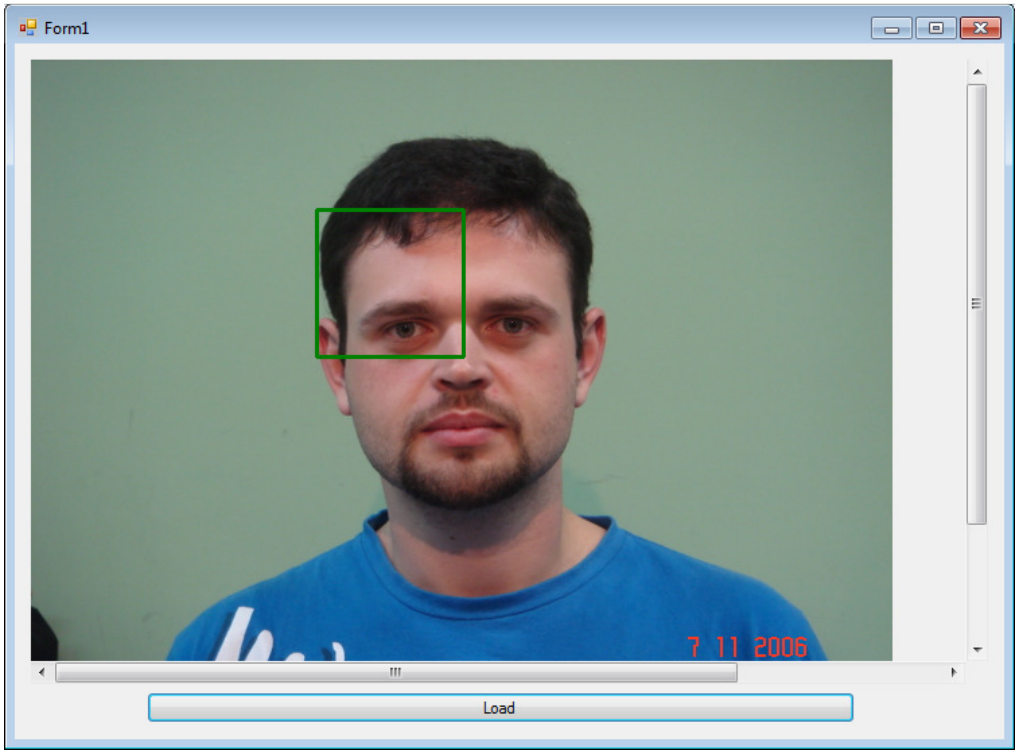

Figura 27 – Subárea para localizar o olho direito.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para o objeto do olho esquerdo, a imagem inicialmente foi subdivida sobre a área do rosto em duas partes ao meio da altura (linha horizontal). A linha que divide a metade do rosto foi utilizada como limite inferior da área de busca deste objeto. O centro da imagem (meio da largura do rosto considerando a linha vertical) é utilizado como lado a direita e os limites a esquerda e superior se baseiam na área do objeto rosto.

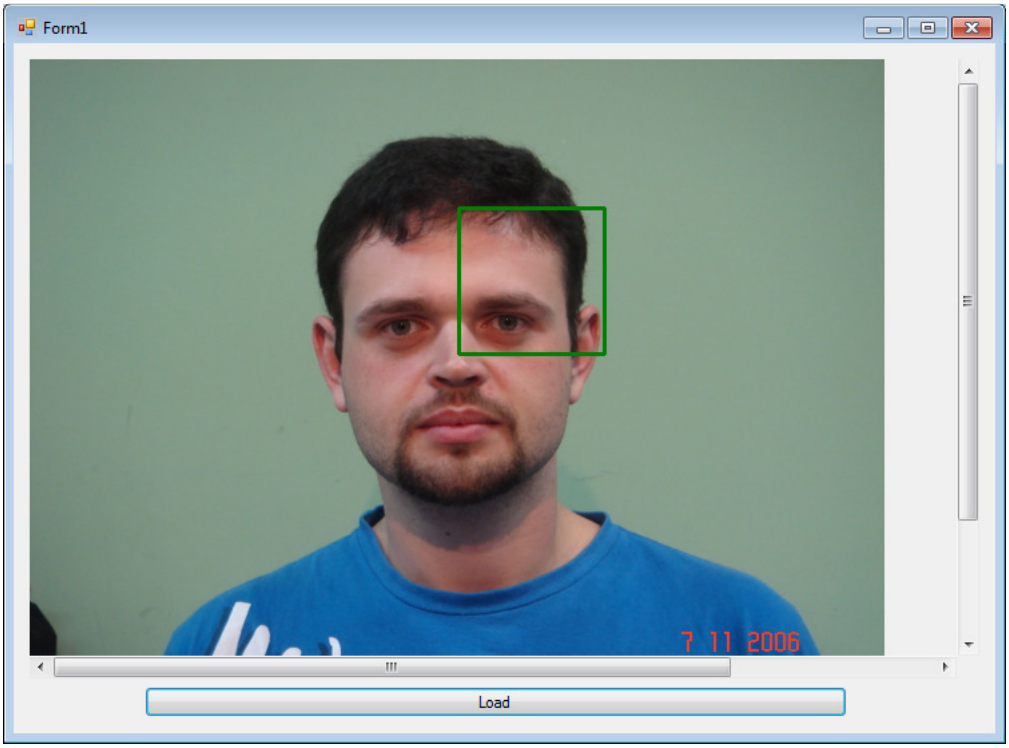

Figura 28 – Subárea para localizar o olho esquerdo.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para objeto do nariz o arquivo utilizado foi o “haarcascade_ nose.xml”, com o uso da limitação de subárea apresentada anteriormente na Figura 29.

Para o objeto do nariz foi utilizada a mesma área localizada para a face. A incidência de falsos positivos não ocorreu nos testes. Desta forma, não se tornou necessária a limitação de área para este objeto.

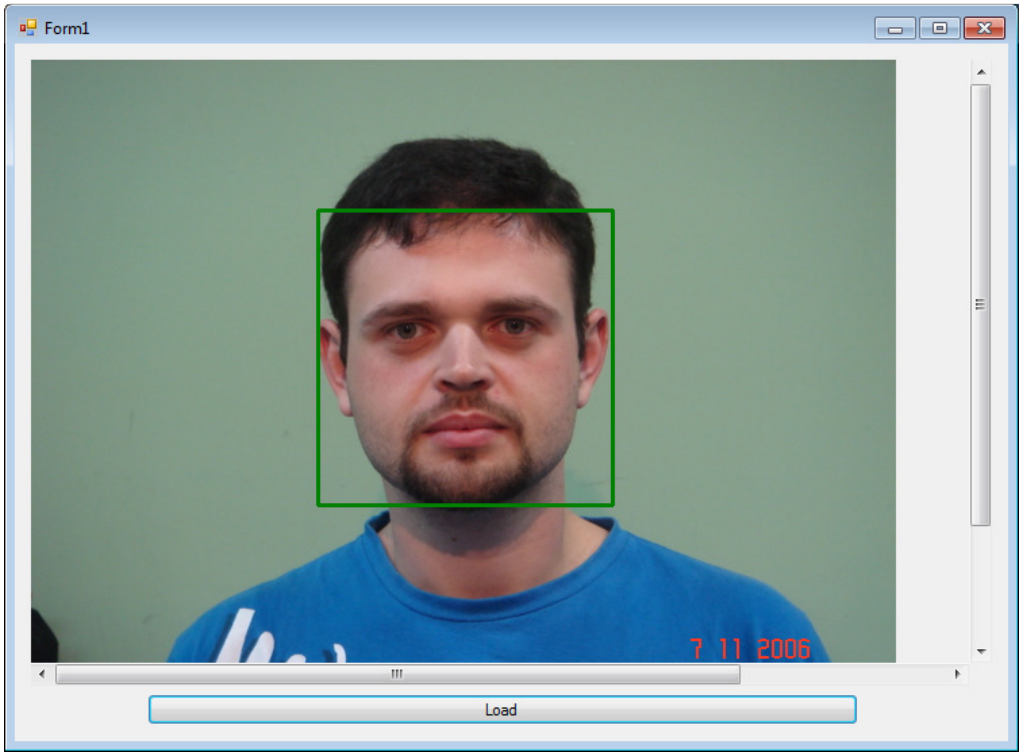

Figura 29 – Subárea para localizar o nariz.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para o objeto boca o arquivo utilizado foi o “haarcascade_mouth.xml”, com o uso da limitação de subárea apresentada na Figura 30.

Para o objeto da boca, a imagem foi subdivida sobre a área do rosto, a partir do ponto base do nariz como aresta superior. Os pontos base, a direita e a esquerda, tiveram como base as arestas da área do rosto, apenas limitando a altura pela metade inferior da face subtraindo o espaço utilizado para o nariz, e a largura pela metade da área do rosto.

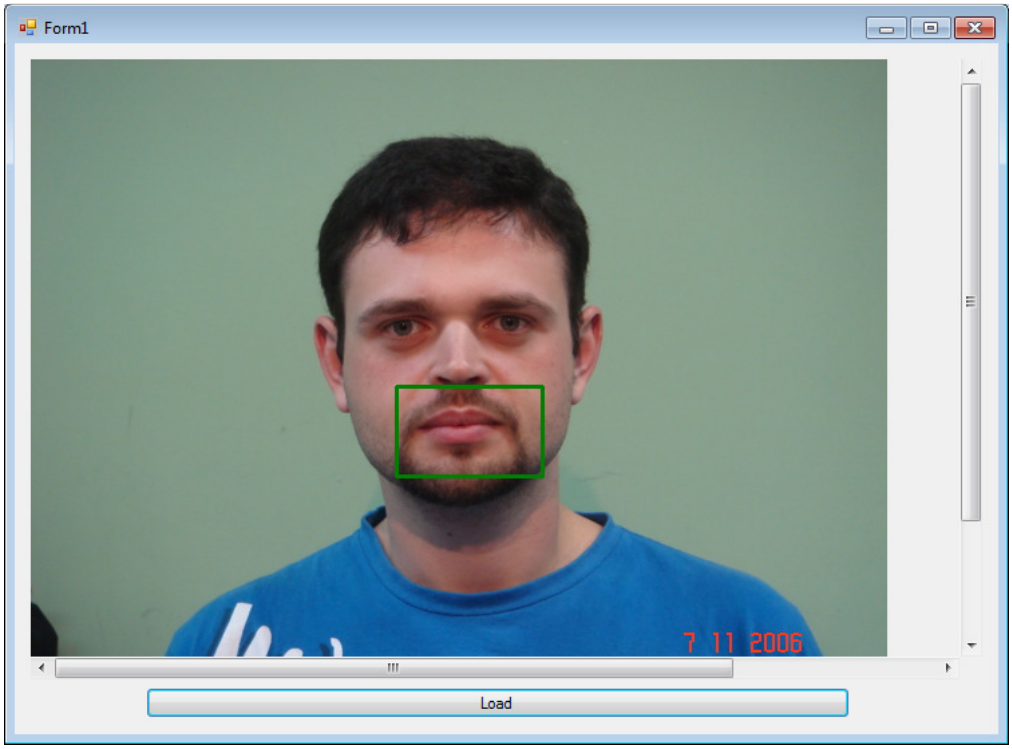

Figura 30 – Subárea para localizar a boca.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

4.3 Detecção dos pontos *FDPs*

Para detectar os pontos definidos no padrão para os objetos pretendidos, utilizou-se a aplicação de filtros na imagem, de forma à estabelecer padrões a serem analisados. Após aplicar validações sobre as imagens resultados, selecionou-se os pontos que posteriormente foram demarcados na imagem original, demonstrando, desta forma, os pontos localizados.

Os objetos, bem como o detalhamento das rotinas utilizadas nas imagens, são apresentados a seguir com os pontos objetivados e as imagens resultado, imagens dos objetos após a aplicação dos filtros em cada rotina.

4.3.1 Objeto Boca

Para cada objeto utilizou-se uma ou mais imagens para a aplicação das validações sobre os pontos desejados. Na boca foram utilizadas três imagens resultados diferentes. Os pontos pretendidos do padrão MPEG-4 sobre o objeto boca, estão ilustrados na figura a seguir:

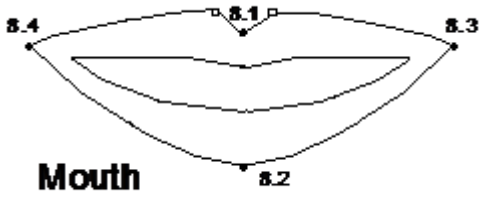

Figura 31 – Pontos FDPs e FAPs da boca.

Fonte: Adaptado de (WALSH; SÉVENIER, 2002).

Para a imagem resultado dos pontos horizontais, pontos 8.4 e 8.3 da Figura 31, utilizou-se os filtros, definidos a seguir:

- Subtraído o brilho da imagem;
- Eliminado a cor vermelha da imagem;
- Transformado a imagem em tonalidades de cinza;
- Aplicando o filtro gaussiano;
- Aplicando a Binarização.

Para cada filtro foram criados métodos particulares, de forma a facilitar a alteração dos padrões aplicados, caso necessário.

Para o brilho da imagem, foi aplicada a fórmula a seguir:

$$g(x,y) = 4 * (1 * f(x,y) - 10)$$

Na fórmula de brilho, foi utilizada a multiplicação por 4 para aplicar mais de uma vez a rotina sobre a imagem. A quantidade quatro, foi definida a partir dos testes, e teve como foco a obtenção de uma melhor qualidade para os experimentos.

Na aplicação do filtro que elimina a cor vermelha, são alterados os parâmetros das camadas para a cor preta, quando o limiar da camada *Red* é superior ao valor 128. A regra de aplicação é apresentada a seguir:

$$g(x,y) = R_{x,y}$$
$$Se\ g(x,y) > 128\ então\ R_{x,y} = 0;\ G_{x,y} = 0;\ B_{x,y} = 0$$

O parâmetro que define o valor a ser considerado na validação (constante 128), foi obtido através da codificação do Digital Image (RUIDIAS, 2010), ambiente de pré-teste explicado anteriormente.

No filtro que transforma as camadas RGB da imagem em tons cinza é obtido a média das três camadas de cor e atribuído sobre as mesmas. A seguir, a fórmula utilizada é apresentada:

$$g(x,y) = f((R_{x,y} + G_{x,y} + B_{x,y})/3)$$

$$R_{x,y} = g(x,y)$$

$$G_{x,y} = g(x,y)$$

$$B_{x,y} = g(x,y)$$

No filtro gaussiano é somado de uma área de 3x3 os valores da camada vermelha, essa soma é multiplicada sobre matriz de gaus. O resultado obtido é dividido pela soma dos elementos da matriz e aplicado como nova cor sobre os *pixels*. A seguir a matriz gaussiana, extraída de Ruidias (2010):

{ 1, 2, 1 }
{ 2, 4, 2 }
{ 1, 2, 1 }

No filtro de Binarização é utilizado um limiar de forma a alterar os tons para duas alternativas, branco ou preto. O limiar 24, aplicado no filtro, foi adquirido após os testes sobre o banco de imagens, tendo como parâmetro de escolha o melhor resultado obtido sobre as imagens. Quando os tons das três camadas são inferior ou igual ao limiar, é atribuída a cor preta as camadas, caso contrário, é alterado para a cor branca. A seguir a fórmula utilizada:

$$g(x,y) = R_{x,y}$$

$$h(x,y) = G_{x,y}$$

$$i(x,y) = B_{x,y}$$

$$Se\ g(x,y) > 24\ e\ h(x,y) > 24\ e\ i(x,y) > 24\ então\ R_{x,y} = 255;\ G_{x,y} = 255;\ B_{x,y} = 255\ senao\ R_{x,y} = 0;\ G_{x,y} = 0;\ B_{x,y} = 0$$

A seguir a imagem resultado para localização dos pontos horizontais da boca:

Figura 32 – Imagem resultado dos pontos horizontais da boca.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os pontos verticais, pontos 8.1 e 8.2 da Figura 31, foram estabelecidas três imagens, sendo a primeira o resultado geral que, posteriormente, serve de base para aplicar os outros filtros. Para a imagem resultado geral, são apresentados os filtros apresentados a seguir:

- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescido contraste.

Como explicado anteriormente, a aplicação do filtro de brilho, por mais de uma vez, deve-se a necessidade de obter uma melhor qualidade das imagens para os experimentos. Tanto o brilho aplicado 6 vezes, quanto o contraste, aplicado 5 vezes, foram obtidos através dos testes elaborados no protótipo. A seguir a fórmula de brilho utilizada:

$$g(x,y) = 6 * (1 * f(x,y) - 10)$$

No filtro de contraste, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$g(x,y) = 5 * (1.3 * f(x,y) + 0)$$

Figura 33 – Imagem resultado geral gerada para processar as demais imagens dos pontos verticais.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A partir da imagem ilustrada na Figura 33, aplicou-se o filtro que mantém a cor vermelha. O processo manteve a tonalidade original da imagem nos pontos que a camada *Red* fosse diferente de 128, dado obtido do programa Digital Image (RUIDIAS, 2010). A seguir a fórmula utilizada:

$$g(x,y) = R_{x,y}$$

$$h(x,y) = G_{x,y}$$

$$i(x,y) = B_{x,y}$$

$$Se\ g(x,y) \leq 128\ então\ R_{x,y} = 255;\ G_{x,y} = 255;\ B_{x,y} = 255$$

A seguir é demonstrada a imagem resultado que foi utilizada para localizar o ponto vertical inferior 8.2.

Figura 34 – Imagem resultado do ponto vertical/inferior, ponto 8.2 da Figura 31.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A partir da imagem da Figura 33, foram aplicados os filtros a seguir:

- Transformado a imagem em tonalidades de cinza;
- Aplicado o filtro gaussiano;
- Aplicada a detecção de bordas de Sobel.

Tanto o filtro de camadas quanto o operador de Gaus, segue o mesmo procedimento explicado anteriormente. No filtro de Sobel (RUIDIAS, 2010) foram utilizadas as matrizes verticais e horizontais, juntamente com o limiar 168 para definição da cor preta e branca. Este limiar foi adquirido após os testes sobre o banco de imagens. A cor branca foi aplicada quando a cor das camadas superava o limiar, caso contrário, foi atribuída a cor preta para as camadas. A seguir é apresentada a imagem resultado que foi utilizada para localizar o ponto vertical superior, ponto 8.1:

Figura 35 – Imagem resultado do ponto vertical/superior, ponto 8.1 da Figura 31.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os resultados corretos observou-se que os casos não apresentavam grande variação sobre a estrutura da boca, sendo, desta forma, possível obter resultados bem delineados sobre o formato do objeto. A figura a seguir apresenta os resultados corretos obtidos sobre 10 imagens diferentes:

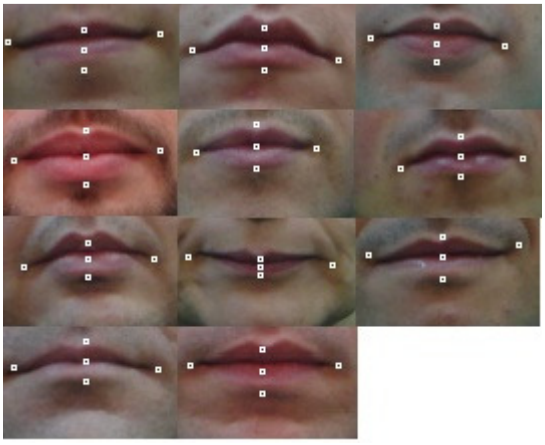

Figura 36 – Resultados corretos obtidos.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os casos com resultados negativos, observou-se que uma grande quantidade de alterações na estrutura, ou seja, grande volume de barba, alteração no ângulo da boca ou delineamento não bem estruturado, gerou casos com resultados incorretos. A seguir 3 imagens com resultados negativos:

Figura 37 – Resultados errados obtidos.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A porcentagem de acerto da boca foi de 79 % em uma amostragem de 14 imagens, sendo que em 3 casos apresentados na Figura 37, foi gerado a marcação de pontos em desalinhamento com os pontos desejados.

4.3.2 Objeto Nariz

Para o Nariz localizou-se sete pontos, a partir de duas imagens resultados obtidas através de diferentes aplicações dos filtros. Os pontos selecionados são ilustrados na imagem a seguir:

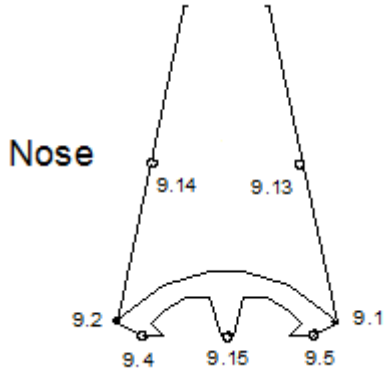

Figura 38 – Pontos FDPs e FAPs do nariz.

Fonte: Adaptado de (WALSH; SÉVENIER, 2002).

Os pontos horizontais, 9.4, 9.5 e 9.15, localizados na base da Figura 38, foram obtidos através dos filtros a seguir:

- Matriz de Aguçamento;
- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescentado contraste.

A matriz de aguçamento foi utilizada para realçar a imagem, de forma que, a partir de uma matriz predefinida e uma constante "w", processou-se a imagem filtrando os *pixels* através da multiplicação dos parâmetros da matriz e dividindo pela quantidade de elementos. A constante "w" foi estabelecida através da fórmula $f(x) = (9 * a - 1)$ (GONZALEZ; WOODS, 2007), onde o valor "a" foi estabelecido como 1. Esse valor foi definido a partir de testes. A seguir é apresentada, extraída de Gonzalez e Woods (2007), a matriz de aguçamento utilizada:

{ -1, -1, -1 }
{ -1, w, -1 }
{ -1, -1, -1 }

Para a subtração do brilho e do contraste da imagem, foram processas as rotinas para obtenção dos valores necessários para caracterizar os pontos objetivos. No filtro de contraste, foi aplicada a mesma fórmula utilizada nos pontos 8.1 e 8.2 da Figura 31. A quantidade de aplicações sobre a função de brilho, 9 vezes, foi definida a partir de testes efetuados. Segue a fórmula aplicada na rotina do brilho:

$$g(x,y) = 9 * (1 * f(x,y) - 10)$$

A combinação da matriz de aguçamento com a aplicação da fórmula de brilho e contraste, possibilitou o realce da área desejada. Segue a imagem resultado sobre a aplicação do aguçamento, a subtração do brilho e o acréscimo do contraste:

Figura 39 – Imagem resultado dos pontos 9.4, 9.5 e 9.15 da Figura 38.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Os pontos, 9.1, 9.2, 9.13 e 9.14 da Figura 38, foram obtidos a partir dos filtros a seguir:

- Transformado a imagem em tonalidades de cinza;
- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescentado contraste;
- Aplicada a detecção de bordas de Sobel.

Os filtros aplicados já foram detalhados anteriormente. As fórmulas aplicadas para o brilho foi a mesma utilizada nos pontos 9.4, 9.5 e 9.15 da Figura 36, enquanto que a fórmula de contraste foi a mesma utilizada nos pontos 8.1 e 8.2 da Figura 29.

No filtro de bordas foi utilizado o processo de Sobel (RUIDIAS, 2010), já explicado anteriormente, com limiar 90 para definição da cor preta e branca. Este limiar foi adquirido após os testes sobre o banco de imagens. A seguir a imagem resultado obtida através dos filtros:

Figura 40 – Imagem resultado dos pontos 9.1, 9.2, 9.13 e 9.14 da Figura 36.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os testes sobre o olho direito dividiu-se em 12 casos com resultados delineados no objeto, com pouca variação e 2 casos com algum ponto desalinhado. A seguir, na Figura 41, é apresentada uma coletânea com os casos bem sucedidos e na Figura 42, os casos com algum problema em não conformidade com os pontos do objeto:

Figura 41 – Resultados corretos obtidos do nariz.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Os casos com não conformidade tiveram maior variação dos tons, de forma a retornar características diferentes das demais.

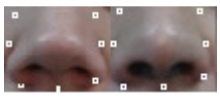

Figura 42 – Resultados errados obtidos do nariz.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A porcentagem de acerto do olho direito foi de 86 % em uma amostragem de 14 imagens, sendo que em 2 casos apresentados na Figura 42, foi gerada a marcação de pontos em desalinhamento com os pontos desejados.

4.3.3 Objeto Olhos

Para os olhos adequou-se a estrutura dos objetos em duas áreas distintas. Essa distinção possibilitou que as diferenças entre as tonalidades para regiões semelhantes não interferissem na detecção dos pontos. As áreas foram nomeadas como olho direito e olho esquerdo. A Figura 43 apresenta os pontos objetivos dos olhos:

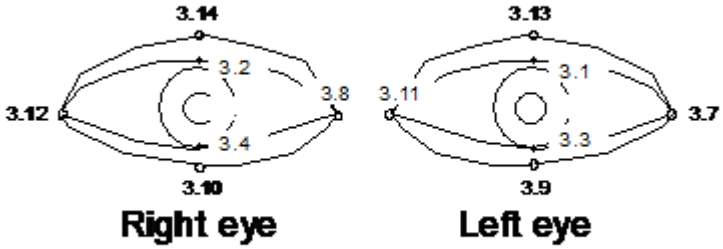

Figura 43 – Pontos FDPs e FAPs dos olhos.

Fonte: Adaptado de (WALSH; SÉVENIER, 2002).

Nas seções a seguir são apresentados os fluxos por objeto e as imagens resultados criadas.

4.3.3.1 Objeto Direito

Para o olho direito foram definidas 4 imagens resultados, onde duas delas compreendem os pontos horizontais e duas os pontos verticais. A seguir é apresentado o detalhamento sobre o fluxo dos filtros aplicados:

Para o ponto horizontal a direita, 3.12 da Figura 43, foram utilizados os filtros a seguir:

- Matriz de Aguçamento;
- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescentado contraste.

O processo de aguçamento foi aplicado da mesma forma que o aplicado para os pontos do nariz. O brilho e o contraste foram mantidos de acordo com o que já detalhado anteriormente. A fórmula de brilho utilizada foi a mesma aplicada nos pontos 8.4 e 8.3 da Figura 31, enquanto que para o contraste utilizou a mesma fórmula aplicada para os pontos 8.1 e 8.2 da Figura 31. A imagem resultado obtida pelo fluxo é demonstrada na Figura 44.

Figura 44 – Imagem resultado para obter o ponto 3.12 da Figura 43.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para o ponto horizontal à esquerda, 3.8 da Figura 43, foram utilizados os filtros a seguir:

- Transformada a imagem em tons de cinza;
- Aplicada a detecção de bordas de Sobel.

Os filtros aplicados já foram detalhados anteriormente. Para o filtro de Sobel (RUIDIAS, 2010), já explicado anteriormente, com limiar 97 para definição da cor preta e branca. Este limiar foi adquirido após os testes sobre o banco de imagens. A seguir a imagem resultado obtida através do fluxo dos filtros:

Figura 45 – Imagem resultado para obter o ponto 3.8 da Figura 43.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para a obtenção dos pontos verticais utilizou-se duas imagens resultados que juntas localizaram uma variação dos pontos 3.10, 3.4, 3.2 e 3.14 da Figura 43.

Nos filtros a seguir, a imagem resultado gerada foi utilizada para detectar os pontos 3.10 e 3.4 da Figura 43.

- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescido contraste;
- Aplicada a Binarização.

Os filtros aplicados já foram detalhados anteriormente, alterando apenas a quantidade de aplicações e o limiar. As quantidades utilizadas nas fórmulas e o limiar 50 para a Binarização foram obtidos a partir dos testes. A fórmula de brilho utilizada foi a mesma aplicada nos pontos 8.4 e 8.3 da Figura 31, enquanto que para o contraste utilizou-se a mesma fórmula aplicada para os pontos 8.1 e 8.2 da Figura 31. A seguir a imagem resultado gerada a partir do fluxo detalhado anteriormente:

Figura 46 – Imagem resultado para obter os pontos 3.10 e 3.4 da Figura 43.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Nos filtros a seguir, a imagem resultado gerada foi utilizada para detectar os pontos 3.2 e 3.14 da Figura 43.

- Matriz de Aguçamento;
- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescido contraste;

Os filtros aplicados já foram detalhados anteriormente, as fórmulas de brilho e contraste foram as mesmas utilizadas no sequenciamento dos pontos 3.10 e 3.4. A seguir a imagem resultado gerada é apresentada:

Figura 47 – Imagem resultado para obter os pontos 3.2 e 3.14 da Figura 43.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os testes sobre o olho direito dividiu-se em 10 casos com resultados delineados no objeto, com pouca variação e 4 casos com algum ponto desalinhado. A seguir, na Figura 48, é apresentada uma coletânea com os casos bem sucedidos e na Figura 49, os casos com algum problema em não conformidade com os pontos do objeto:

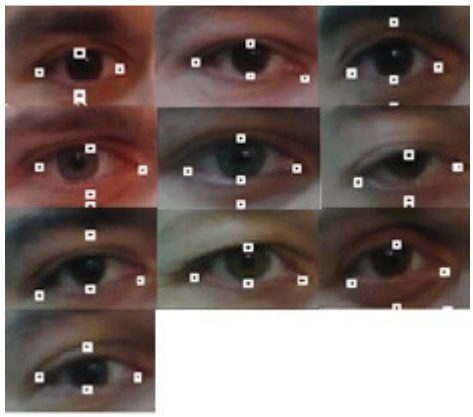

Figura 48 – Resultados corretos obtidos do olho direito.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os casos em não conformidade, verificou-se uma variação dos tons nas imagens resultados divergentes dos demais casos.

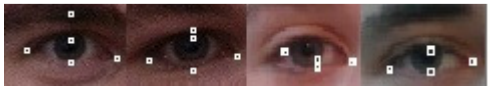

Figura 49 – Resultados errados obtidos do olho direito.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A porcentagem de acerto do olho direito foi de 71 % em uma amostragem de 14 imagens, sendo que em 4 casos apresentados na Figura 49, foi gerado a marcação de pontos em desalinhamento com os pontos desejados.

4.3.3.2 Objeto Esquerdo

Para o olho esquerdo houve modificações no código para as validações dos pontos, uma vez que, determinou-se uma diferenciação entre os objetos dos olhos. Manteve-se 4 imagens resultados, onde duas delas compreendem os pontos horizontais e duas os pontos verticais. A seguir o detalhamento sobre os filtros aplicados:

Para os pontos horizontais, 3.11 e 3.7 da Figura 43, utilizou o fluxo a seguir:

- Matriz de Aguçamento;
- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescentado contraste.

Os filtros aplicados já foram detalhados anteriormente, modificando apenas as fórmulas de brilho e contraste sobre a quantidade de execuções feitas. A fórmula de brilho utilizada foi a mesma dos pontos 8.4 e 8.3 da Figura 31. A quantidade de aplicações sobre o filtro de contraste, 3 vezes, foi definida a partir de testes efetuados. A seguir a fórmula de contraste aplicada e a imagem resultado obtida no processo:

$$g(x,y) = 3 * (1.3 * f(x,y) + 0)$$

Figura 50 – Imagem resultado para obter os pontos 3.11 e 3.7 da Figura 43.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para localização dos pontos 3.9 e 3.3 da Figura 43, utilizou os filtros a seguir:

- Subtraído o brilho da imagem;

- Acrescido contraste;
- Aplicada a Binarização.

Os filtros já foram detalhados anteriormente, o limiar utilizado no filtro de Binarização 50 foi obtido através de testes. A fórmula de brilho utilizada foi a mesma aplicada nos pontos 8.4 e 8.3 da Figura 31, enquanto que para o contraste utilizou-se a mesma fórmula aplicada para os pontos 8.1 e 8.2 da Figura 31. A seguir a imagem resultado obtida e as fórmulas aplicadas:

Figura 51 – Imagem resultado para obter os pontos 3.9 e 3.3 da Figura 43.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para localização do ponto 3.1 da Figura 43, utilizou-se os filtros a seguir:

- Matriz de Aguçamento;
- Subtraído o brilho da imagem;
- Acrescido contraste;

Os filtros já foram detalhados anteriormente. A fórmula de brilho utilizada foi a mesma aplicada nos pontos 8.4 e 8.3 da Figura 31, enquanto que para o contraste utilizou a mesma fórmula aplicada para os pontos 3.11 e 3.7 da Figura 43. A seguir a imagem resultado obtido e as fórmulas aplicadas:

Figura 52 – Imagem resultado para obter os pontos 3.1 da Figura 43.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os testes sobre o olho esquerdo dividiu-se em 11 casos com resultados delineados no objeto, com pouca variação e 3 casos com algum ponto desalinhado. A seguir, na Figura 53, é apresentada uma coletânea com os casos bem sucedidos e na Figura 54, os casos com algum problema em não conformidade com os pontos do objeto:

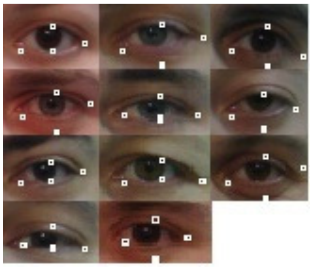

Figura 53 – Resultados corretos obtidos do olho esquerdo.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para os casos em não conformidade, verificou-se uma variação dos tons nas imagens resultados divergentes dos demais casos.

Figura 54 – Resultados errados obtidos do olho esquerdo.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A porcentagem de acerto do olho esquerdo foi de 79 % em uma amostragem de 14 imagens sendo que em 3 casos apresentados na Figura 54, foi gerado a marcação de pontos em desalinhamento com os pontos desejados.

4.3.4 Fluxograma do processo

A partir dos testes individuais das áreas de interesse foram detalhadas as particularidades dos fluxos utilizados por objeto. Para a visão macro do sistema, definiu-se o fluxograma a seguir:

- Detecta FACE: Classe com as funcionalidades para extração das características.
- Localiza área rosto: aplicado método de Viola e Jones (2004) a partir da biblioteca EMGU CV, para localizar a área do rosto;
- Delimita área de busca do Objeto olho direito;
- Delimita área de busca do Objeto olho esquerdo;
- Delimita área de busca do Objeto nariz;
- Delimita área de busca do Objeto boca;

- Localiza o objeto: os métodos de localização de pontos é chamado após o uso do método de Viola e Jones (2004) a partir da biblioteca EMGU CV, se utilizando da área delimitada e do arquivo XML respectivo para cada um dos objetos.
- Aplica filtragens e demarca pontos por validação: a partir da localização dos objetos são aplicados os filtros e gerados as imagens resultado, essas, por sua vez, são utilizadas por validações, a fim de localizar variações nos tons que possibilitem a localização dos pontos objetivos.

A seguir a ilustração do fluxograma e de exemplos de faces com todos os objetos com os pontos demarcados:

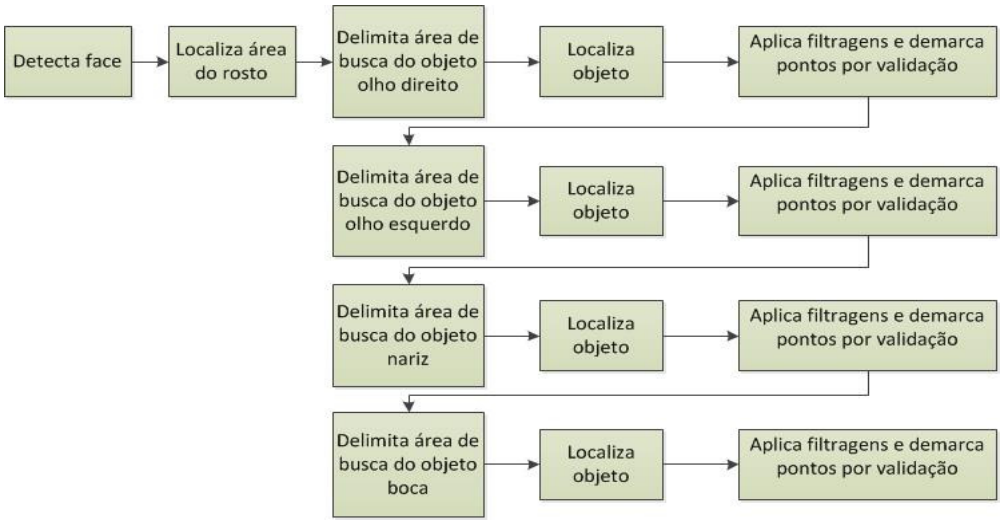

Figura 55 – Fluxograma do processo.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

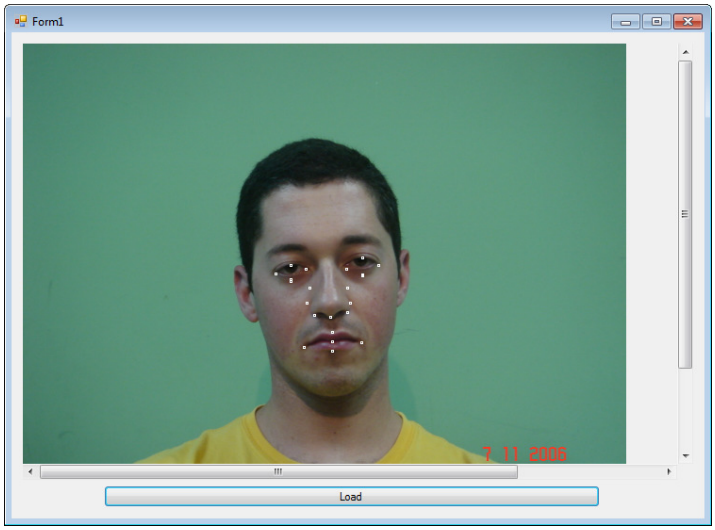

Figura 56 – Imagem 01 - Resultados gerais.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

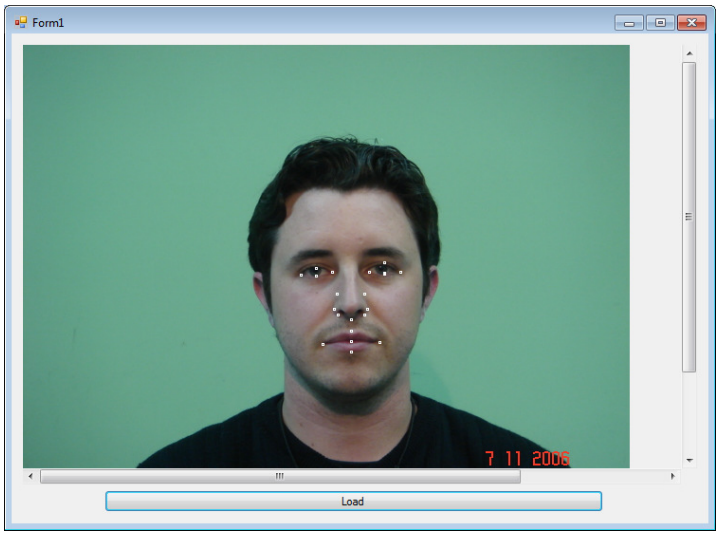

Figura 57 – Imagem 02 - Resultados gerais.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

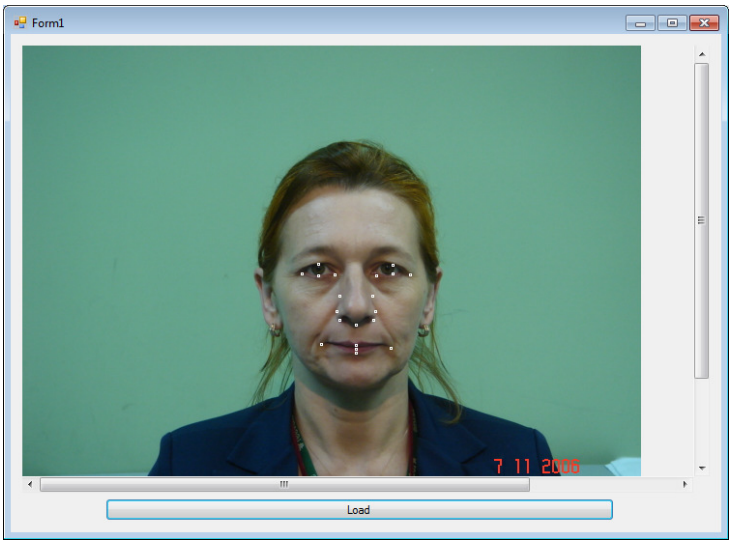

Figura 58 – Imagem 03 - Resultados gerais.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

CONCLUSÃO

O trabalho iniciou com uma revisão bibliográfica sobre métodos de processamento de imagens da face. A partir destes conhecimentos, procurou-se localizar ferramentas que detectassem os objetos faciais, uma vez que, a detecção dos objetos não foi objetivado no projeto pois já havia sido desenvolvido no projeto de origem do Acuña (2006). A partir das ferramentas analisadas, optou-se pela biblioteca EMGU CV. Essa biblioteca possui um funcionamento fácil e com retorno muito assertivo para as características desejadas. O processo de localização da biblioteca é através do método de Viola e Jones (2004), e se utiliza de formas geométricas com diferentes dimensões e direções para localizar as características armazenadas em um arquivo pré-processado. O uso da ferramenta na localização dos objetos apesar de poucos falsos positivos, adequou-se um dimensionamento como restrição de áreas.

A partir dos objetos determinados, foi mantido o padrão *MPEG-4* do trabalho de Acuña (2006). O padrão determina de forma organizada a modelagem dos pontos utilizados no projeto.

A partir dos objetos e do padrão com a modelagem, foram utilizados diferentes fluxos aplicados nas imagens. Os fluxos foram adequados a partir dos testes elaborados para cada ponto em específico, sobre as subimagens geradas pela aplicação dos filtros utilizou-se de validações sob os tons obtidos para detectar as variações que demarcassem os pontos. A abordagem de criação de diversas imagens, por diferentes fluxos de filtros, foi elaborada para adequar as variações existentes para cada ponto em específico sobre a face.

Como resultado das demarcações nas imagens obteve-se pontos satisfatórios, de forma que o objetivo de gerar um processo capaz localizar pontos em uma face para a modelagem, e possibilitar a extração das características, foi estabelecida com uma porcentagem de acerto favorável.

Como trabalhos futuros sugere-se a estruturação dos pontos localizados em formas geométricas, estruturadas nos moldes de cada objeto em específico, de forma a gerar outras formas de validações que não sejam apenas por tons, métodos que gerem uma melhor avaliação da profundidade sobre o rosto, possibilitando, desta forma, uma melhor localização dos pontos já obtidos e também dos demais ainda não demarcados neste projeto e uma maior quantidade de imagens para geração de testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUÑA, Luis E. P. **Detecção Facial e suas Características.** 2006. Disponível em: <http://tconline.feevale.br/tc/files/0001_762.pdf>. Acessado em: 01 maio 2013.

CRAW, Ian; Tock, David; Bennett, Alan. **Finding face features.** 1992. In Proceedings of the Second European Conference on Computer Vision, pp. 92-96.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento de imagens digitais,** São Paulo, Blucher, pp. 138-140, 2007.

GOUVEIA, Wellington da R. **Detecção de faces humanas em imagens coloridas utilizando redes neurais artificiais.** 2010. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-11032010-160048/pt-br.php>. Acessado em 01 maio 2013.

ISO/IEC JTC1/SC29/WG11(1998) SNHC, **Information Technology – Generics Coding of Audio – Visual Objects, Part.2,** Visual. ISO/IEC 14496-2, Final Draft of International Standard, 1998.

JIN, Zhong; LOU, Zhen; YANG, Jingyu; Sun, Quansen. **Face detection using template matching and skin-color information.** 2007. Neurocomputing, vol. 70, pp. 794-800.

NAYAK, Shilpi; BUSHONG, Vanna. **Implementation of Snake Method for Lip Tracking.** 2012. Disponível em:

<http://www.vannabushong.com/Vision/Implementation_of_Snake_Method_for_Lip_Tracking.pdf>. Acessado em 01 outubro 2012.

NIKOLAIDIS, Athanasios; Pitas, Ioannis. **Facial feature extraction and pose determination. Pattern Recognition.** 2000. Journal: Pattern Recognition - PR , vol. 33, no. 11, pp. 1783-1791, 2000

ROSÁRIO, Sandra V. P. G. do. **Facial Emoticons.** 2008. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/238093/1/dissertacao.pdf>. Acessado em 01 outubro 2012.

ROWLEY, Henry A.; Baluja, Shumeet; Kanade, Takeo. (1998). **Neural network-based face detection.** IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 20(1):23-38.

RUIDIAS, Sandro M. **Extração e análise de características de imagens digitais para construção de um modelo de reconhecimento de padrões.** 2010. Disponível em: <http://tconline.feevale.br/tc/files/0002_2358.doc>. Acessado em 01 maio 2013.

SCASSELLATI, Brian. **Eye finding via face detection for a foveated, active vision system.** 1998. In Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence.

SENIOR, Andrew W. **Face and feature finding for a face recognition system.** 1999. In Proceedings of the Second International Conference on Audio- and Video-Based Person Authentication.

SILVA, Caroline; SCHNITMAN, Leizer; OLIVEIRA, Luciano. **Detecção de Landmarks em imagens faciais baseada em informações locais.** 2012. Disponível em:

<http://www.ivisionlab.eng.ufba.br/docs/conferences/2012/cba2012.pdf>. Acessado em 01 outubro 2012.

VIOLA, Paul; JONES, Michael J. **Robust Real-Time Face Detection.** 2004. International Journal of Computer Vision, Volume 57, Issue 2, Pages 137-154.

WALSH, Aaron E.; SÉVENIER, Mikael B. **MPEG-4.** 2002. Estados Unidos, Prentice Hall PTR.

ZAPATA, Juan; RUIZ, Ramón. **Biometric and color Features Fusion for Face Detection and Tracking in Natural Video Sequences.** 2007. Proceedings of the 2nd international work-conference on Nature Inspired Problem-Solving Methods in Knowledge Engineering, Interplay Between Natural and Artificial Computation, Part II, Pages 72-80.

ANEXOS

ANEXO A – Pontos FAP

Nome FAP	Descrição FAP	Unida-des	Uni-orBidir	Pos-moção	Grp	FDP ubgrp num	Quantidade Paso tamanho	Min/Max I-Frame valores quantitativos	Min/Max P-Frame valores quantitativos
Viseme	Conjunto de valores que determinam a mistura de dois visemas para este frame (p.e. pbm, fv, th)	Na	Na	na	1	na	1	Viseme_blend: +63	Viseme_blend: +-63
Expressão	Conjunto de valores que determinam a mistura de duas expressões faciais	Na	Na	na	1	na	1	expression_intensity1, expression_intensity2: +63	expression_intensity1, expression_intensity2: +-63
open_jaw	Deslocamento vertical da mandíbula (no afeta à apertura da boca)	MNS	U	down	2	1	4	+1080	+360
lower_t_midlip	Deslocamento vertical da parte central interna do lábio superior	MNS	B	down	2	2	2	+-600	+-180
raise_b_midlip	Deslocamento vertical da parte central interna do lábio inferior	MNS	B	up	2	3	2	+-1860	+-600
stretch_l_cornerlip	Deslocamento horizontal da parte interna do canto esquerdo do lábio	MW	B	left	2	4	2	+-600	+-180
stretch_r_cornerlip	Deslocamento horizontal da parte interna do canto direito do lábio	MW	B	right	2	5	2	+-600	+-180
lower_t_lip_lm	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto esquerdo e o centro interno do lábio superior	MNS	B	down	2	6	2	+-600	+-180

Nome FAP	**Descrição FAP**	**Unida-des**	**Uni-orBidir**	**Pos-moção**	**Grp**	**FDP ubgrp num**	**Quantidade Paso tamanho**	**Min/Max I-Frame valores quantitativos**	**Min/Max P-Frame valores quantitativos**
lower_t_lip_rm	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto direito e o centro interno do lábio superior	MNS	B	down	2	7	2	+-600	+-180
raise_b_lip_lm	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto esquerdo e o centro interno do lábio inferior	MNS	B	up	2	8	2	+-1860	+-600
raise_b_lip_rm	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto direito e o centro interno do lábio inferior	MNS	B	up	2	9	2	+-1860	+-600
raise_l_cornerlip	Deslocamento vertical do canto esquerdo interno do lábio	MNS	B	up	2	4	2	+-600	+-180
raise_r_cornerlip	Deslocamento vertical do canto direito interno do lábio	MNS	B	up	2	5	2	+-600	+-180
thrust_jaw	Deslocamento em profundidade da mandíbula	MNS	U	forward	2	1	1	+600	+180
shift_jaw	Deslocamento lado a lado da mandíbula	MW	B	right	2	1	1	+-1080	+-360
push_b_lip	Deslocamento em profundidade da parte central do lábio inferior	MNS	B	forward	2	3	1	+-1080	+-360
push_t_lip	Deslocamento em profundidade da parte central do lábio superior	MNS	B	forward	2	2	1	+-1080	+-360
depress_chin	Movimento para cima e com compressão do queixo (como na expressão de tristeza)	MNS	B	up	2	10	1	+-420	+-180
close_t_l_eyelid	Deslocamento vertical da parte superior esquerda da pálpebra	IRISD	B	down	3	1	1	+-1080	+-600

Nome FAP	**Descrição FAP**	**Unida-des**	**Uni-orBidir**	**Pos-moção**	**Grp**	**FDP ubgrp num**	**Quantidade Paso tamanho**	**Min/Max I-Frame valores quantitativos**	**Min/Max P-Frame valores quantitativos**
close_t_r_eyelid	Deslocamento vertical da parte superior direita da pálpebra	IRISD	B	down	3	2	1	+-1080	+-600
close_b_l_eyelid	Deslocamento vertical da parte inferior esquerda da pálpebra	IRISD	B	up	3	3	1	+-600	+-240
close_b_r_eyelid	Deslocamento vertical da parte inferior direita da pálpebra	IRISD	B	up	3	4	1	+-600	+-240
yaw_l_eyeball	Orientação horizontal do globo ocular esquerdo	AU	B	left	3	na	128	+-1200	+-420
yaw_r_eyeball	Orientação horizontal do globo ocular direito	AU	B	left	3	na	128	+-1200	+-420
pitch_l_eyeball	Orientação vertical do globo ocular esquerdo	AU	B	down	3	na	128	+-900	+-300
pitch_r_eyeball	Orientação vertical do globo ocular direito	AU	B	down	3	na	128	+-900	+-300
thrust_l_eyeball	Deslocamento em profundidade do globo ocular esquerdo	ES	B	forward	3	na	1	+-600	+-180
thrust_r_eyeball	Deslocamento em profundidade do globo ocular direito	ES	B	forward	3	na	1	+-600	+-180
dilate_l_pupil	Dilatação da pupila esquerda	IRISD	B	growing	3	5	1	+-420	+-120
dilate_r_pupil	Dilatação da pupila direita	IRISD	B	growing	3	6	1	+-420	+-120
raise_l_i_eyebrow	Deslocamento vertical da parte interna da sobrancelha esquerda	ENS	B	up	4	1	2	+-900	+-360
raise_r_i_eyebrow	Deslocamento vertical da parte interna da sobrancelha direita	ENS	B	up	4	2	2	+-900	+-360

Nome FAP	**Descrição FAP**	**Unida-des**	**Uni-orBidir**	**Pos-moção**	**Grp**	**FDP ubgrp num**	**Quantidade Paso tamanho**	**Min/Max I-Frame valores quantitativos**	**Min/Max P-Frame valores quantitativos**
raise_l_m_eyebrow	Deslocamento vertical da parte central da sobrancelha esquerda	ENS	B	up	4	3	2	+-900	+-360
raise_r_m_eyebrow	Deslocamento vertical da parte central da sobrancelha direita	ENS	B	up	4	4	2	+-900	+-360
raise_l_o_eyebrow	Deslocamento vertical da parte externa da sobrancelha esquerda	ENS	B	up	4	5	2	+-900	+-360
raise_r_o_eyebrow	Deslocamento vertical da parte externa da sobrancelha direita	ENS	B	up	4	6	2	+-900	+-360
squeeze_l_eyebrow	Deslocamento horizontal da sobrancelha esquerda	ES	B	right	4	1	1	+-900	+-300
squeeze_r_eyebrow	Deslocamento horizontal da sobrancelha direita	ES	B	left	4	2	1	+-900	+-300
puff_l_cheek	Deslocamento horizontal da bochecha esquerda	ES	B	left	5	1	2	+-900	+-300
puff_r_cheek	Deslocamento horizontal da bochecha direita	ES	B	right	5	2	2	+-900	+-300
lift_l_cheek	Deslocamento vertical da bochecha esquerda	ENS	U	up	5	3	2	+-600	+-180
lift_r_cheek	Deslocamento vertical da bochecha direita	ENS	U	up	5	4	2	+-600	+-180
shift_tongue_tip	Deslocamento horizontal da ponta da língua	MW	B	right	6	1	1	+-1080	+-420
raise_tongue_tip	Deslocamento vertical da ponta da língua	MNS	B	up	6	1	1	+-1080	+-420
thrust_tongue_tip	Deslocamento em profundidade da ponta da língua	MW	B	forward	6	1	1	+-1080	+-420

Nome FAP	**Descrição FAP**	**Unida-des**	**Uni-orBidir**	**Pos-moção**	**Grp**	**FDP ubgrp num**	**Quantidade Paso tamanho**	**Min/Max I-Frame valores quantitativos**	**Min/Max P-Frame valores quantitativos**
raise_tongue	Deslocamento vertical da língua	MNS	B	up	6	2	1	+-1080	+-420
tongue_roll	Dobramento da língua em forma de U	AU	U	concave upward	6	3, 4	512	+300	+60
head_pitch	Angulo de pitch da cabeça desde o inicio da coluna	AU	B	down	7	na	170	+-1860	+-600
head_yaw	Angulo de yaw da cabeça desde o inicio da coluna	AU	B	left	7	na	170	+-1860	+-600
head_roll	Angulo de roll da cabeça desde o inicio da coluna	AU	B	right	7	na	170	+-1860	+-600
lower_t_midlip _o	Deslocamento vertical da parte central externa do lábio superior	MNS	B	down	8	1	2	+-600	+-180
raise_b_midlip_o	Deslocamento vertical da parte central externa do lábio inferior	MNS	B	up	8	2	2	+-1860	+-600
stretch_l_cornerlip _o	Deslocamento horizontal da parte externa do canto esquerdo	MW	B	left	8	3	2	+-600	+-180
stretch_r_cornerlip _o	Deslocamento horizontal da parte externa do canto direito	MW	B	right	8	4	2	+-600	+-180
lower_t_lip_lm _o	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto esquerdo e o centro externo do lábio superior	MNS	B	down	8	5	2	+-600	+-180
lower_t_lip_rm _o	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto direito e o centro externo do lábio superior	MNS	B	down	8	6	2	+-600	+-180
raise_b_lip_lm_o	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto esquerdo e o centro externo do lábio inferior	MNS	B	up	8	7	2	+-1860	+-600

Nome FAP	**Descrição FAP**	**Unida-des**	**Uni-orBidir**	**Pos-moção**	**Grp**	**FDP ubgrp num**	**Quantidade Paso tamanho**	**Min/Max I-Frame valores quantitativos**	**Min/Max P-Frame valores quantitativos**
raise_b_lip_rm_o	Deslocamento vertical do ponto meio entre o canto direito e o centro externo do lábio inferior	MNS	B	up	8	8	2	+-1860	+-600
raise_l_cornerlip_o	Deslocamento vertical da parte externa do canto esquerdo do lábio	MNS	B	up	8	3	2	+-600	+-180
raise_r_cornerlip _o	Deslocamento vertical da parte externa do canto direito do lábio	MNS	B	up	8	4	2	+-600	+-180
stretch_l_nose	Deslocamento horizontal da parte esquerda do nariz	ENS	B	left	9	1	1	+-540	+-120
stretch_r_nose	Deslocamento horizontal da parte direita do nariz	ENS	B	right	9	2	1	+-540	+-120
raise_nose	Deslocamento vertical da ponta do nariz	ENS	B	up	9	3	1	+-680	+-180
bend_nose	Deslocamento horizontal da ponta do nariz	ENS	B	right	9	3	1	+-900	+-180
raise_l_ear	Deslocamento vertical da orelha esquerda	ENS	B	Up	10	1	1	+-900	+-240
raise_r_ear	Deslocamento vertical da orelha direita	ENS	B	Up	10	2	1	+-900	+-240
pull_l_ear	Deslocamento horizontal da orelha esquerda	ENS	B	left	10	3	1	+-900	+-300
pull_r_ear	Deslocamento horizontal da orelha direita	ENS	B	right	10	4	1	+-900	+-300

Fonte: WALSH; SÉVENIER (2002).

ANEXO B – Descrição e posicionamento dos pontos FDPs

Feature Points	Text Description	Recommended Location Constraints		
		X	Y	Z
2.1	Bottom of the chin	7.1.x		
2.2	Middle point of inner upper lip contour	7.1.x		
2.3	Middle point of inner lower lip contour	7.1.x		
2.4	Left corner of inner lip contour			
2.5	Right corner of inner lip contour			
2.6	Midpoint between f.p. 2.2 and 2.4 in the inner upper lip contour	(2.2.x+2.4.x)/2		
2.7	Midpoint between f.p. 2.2 and 2.5 in the inner upper lip contour	(2.2.x+2.5.x)/2		
2.8	Midpoint between f.p. 2.3 and 2.4 in the inner lower lip contour	(2.3.x+2.4.x)/2		
2.9	Midpoint between f.p. 2.3 and 2.5 in the inner lower lip contour	(2.3.x+2.5.x)/2		
2.10	Chin boss	7.1.x		
2.11	Chin left corner	> 8.7.x and < 8.3.x		
2.12	Chin right corner	> 8.4.x and < 8.8x		
2.13	Left corner of jaw bone			
2.14	Right corner of jaw bone			
3.1	Center of upper inner left eyelid	(3.7.x+3.11.x)/2		
3.2	Center of upper inner right eyelid	(3.8.x+3.12.x)/2		
3.3	Center of lower inner left eyelid	(3.7.x+3.11.x)/2		
3.4	Center of lower inner right eyelid	(3.8.x+3.12.x)/2		
3.5	Center of the pupil of left eye			
3.6	Center of the pupil of right eye			
3.7	Left corner of left eye			

Feature Points	Text Description	Recommended Location Constraints		
		X	Y	Z
3.8	Left corner of right eye			
3.9	Center of lower outer left eyelid	(3.7.x+3.11.x)/2		
3.10	Center of lower outer right eyelid	(3.7.x+3.11.x)/2		
3.11	Right corner of left eye			
3.12	Right corner of right eye			
3.13	Center of upper outer left eyelid	(3.8.x+3.12.x)/2		
3.14	Center of upper outer right eyelid	(3.8.x+3.12.x)/2		
4.1	Right corner of left eyebrow			
4.2	Left corner of left eyebrow			
4.3	Uppermost point of the left eyebrow	(4.1.x+4.5.x)/2 or x coord of the uppermost point of the contour		
4.4	Uppermost point of the right eyebrow	(4.2.x+4.6.x)/2 or x coord of the uppermost point of the contour		
4.5	Left corner of left eyebrow			
4.6	Right corner of right eyebrow			
5.1	Center of the left cheek		8.3.y	
5.2	Center of the right cheek		8.4.y	
5.3	Left cheek boné	> 3.5.x and <3.7.x	> 9.15.y and <9.12.y	
5.4	Right cheek boné	> 3.6.x and <3.12.x	> 9.15.y and <9.12.y	
6.1	Tip of the tongue	7.1.x		
6.2	Center of the tongue body	7.1.x		

Feature Points	Text Description	Recommended Location Constraints		
		X	Y	Z
6.3	Left border of the tongue			6.2.z
6.4	Right border of the tongue			6.2.z
7.1	Top of spine (center of head rotation)			
8.1	Middle point of outer upper lip contour	7.1.x		
8.2	Middle point of outer lower lip contour	7.1.x		
8.3	Left corner of outer lip contour			
8.4	Right corner of outer lip contour			
8.5	Midpoint between f.p. 8.3 and 8.1 in outer upper lip contour	(8.3.x+8.1.x)/2		
8.6	Midpoint between f.p. 8.4 and 8.1 in outer upper lip contour	(8.4.x+8.1.x)/2		
8.7	Midpoint between f.p. 8.3 and 8.2 in outer lower lip contour	(8.3.x+8.2.x)/2		
8.8	Midpoint between f.p. 8.4 and 8.2 in outer lower lip contour	(8.4.x+8.2.x)/2		
8.9	Right high point of Cupid's bow			
8.10	Left high point of Cupid's bow			
9.1	Left nostril border			
9.2	Right nostril border			
9.3	Nose tip	7.1.x		
9.4	Bottom right edge of nose			
9.5	Bottom left edge of nose			
9.6	Right upper edge of nose bone			
9.7	Left upper edge of nose bone			
9.8	Top of the upper teeth	7.1.x		
9.9	Bottom of the lower teeth	7.1.x		
9.10	Bottom of the upper teeth	7.1.x		
9.11	Top of the lower teeth	7.1.x		

Feature Points	Text Description	Recommended Location Constraints		
		X	Y	Z
9.12	Middle lower edge of nose bone (or nose bump)	7.1.x	(9.6.y+9.3.y)/2 or nose bump	
9.13	Left lower edge of nose bone		(9.6.y+9.3.y)/2	
9.14	Right lower edge of nose bone		(9.6.y+9.3.y)/2	
9.15	Bottom middle edge of nose	7.1.x		
10.1	Top of left ear			
10.2	Top of right ear			
10.3	Back of left ear		(10.1.y+10.5.y)/2	
10.4	Back of right ear		(10.2.y+10.6.y)/2	
10.5	Bottom of left ear lobe			
10.6	Bottom of right ear lobe			
10.7	Lower contact point between left lobe and face			
10.8	Lower contact point between right lobe and face			
10.9	Upper contact point between left ear and face			
10.10	Upper contact point between right ear and face			
11.1	Middle border betwenn hair and forehead	7.1.x		
11.2	Right border between hair and forehead	< 4.4.x		
11.3	Left border between hair and forehead	> 4.3.x		
11.4	Top of skull	7.1.x		> 10.4.z and < 10.2.z
11.5	Hair thickness over f.p. 11.4	11.4.x		11.4.z
11.6	Back of skull	7.1.x	3.5.y	

Fonte: WALSH; SÉVENIER (2002).