



Ministério da Justiça



UnB



Termo de Cooperação/Projeto:

**Acordo de Cooperação Técnica
FUB/CDT e MJ/SE
Registro de Identidade Civil –
Replanejamento e Novo Projeto Piloto**

Documento:

**RT Estudo Sobre Técnicas de Fusão
em Multibiometria e o Desempenho de
sistemas Multimodais versão 0.1**

Data de Emissão:

31/03/2015

Elaborado por:

**Universidade de Brasília – UnB
Centro de Apoio ao Desenvolvimento
Tecnológico – CDT
Laboratório de Tecnologias da Tomada
de Decisão – LATITUDE UnB**

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA

José Eduardo Cardozo
Ministro

Marivaldo de Castro Pereira
Secretário Executivo

Helvio Pereira Peixoto
Coordenador Suplente do Comitê Gestor do SINRIC

EQUIPE TÉCNICA

Ana Maria da Consolação Gomes Lindgren
Andréa Benoliel de Lima
Celso Pereira Salgado
Delluiz Simões de Brito
Elaine Fabiano Rocantins
Fernando Saliba Oliveira
Fernando Teodoro Filho
Guilherme Braz Carneiro
Joaquim de Oliveira Machado
John Kennedy Férrer Lima
José Alberto Sousa Torres
Marcelo Martins Villar
Raphael Fernandes de Magalhães Pimenta
Rodrigo Borges Nogueira
Rodrigo Gurgel Fernandes Távora
Sara Lais Rahal Lenharo

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Ivan Marques Toledo Camargo
Reitor

Paulo Anselmo Ziani Suarez
Diretor do Centro de Apoio ao Desenvolvimento
Tecnológico – CDT

Rafael Timóteo de Sousa Júnior
Coordenador do Laboratório de Tecnologias da
Tomada de Decisão – LATITUDE

EQUIPE TÉCNICA

Flávio Elias Gomes de Deus (Pesquisador Sênior)
William Ferreira Giazza
(Pesquisador Sênior)
Ademir Agostinho de Rezende Lourenço
Adriana Nunes Pinheiro
Alessandro Zimmer
Alysson Fernandes de Chantal
Amanda Almeida Paiva
Andréia Campos Santana
Antônio Claudio Pimenta Ribeiro
Carolinne Januária de Souza Martins
Caio Rondon Botelo de Carvalho
Daniela Carina Pena Pascual
Danielle Ramos da Silva
Diogenes Ferreira Reis Fustinoni
Eduarda Simões Veloso Freire
Fábio Lúcio Lopes Mendonça
Fábio Mesquita Buiati
Glaudson Menegazzo Verzeletti
Heverson Soares de Brito
Jonathas Santos de Oliveira
José Carneiro da Cunha Oliveira Neto
José Elenilson Cruz
Kelly Santos de Oliveira Bezerra
Luciano Pereira dos Anjos
Luciene Pereira de Cerqueira Kaipper
Luiz Antônio de Souto Evaristo
Luiz Claudio Ferreira
Marcos Vinicius Vieira da Silva
Marco Schaffer
Mirele Maria Cavalcante Rocha
Pedro Augusto Oliveira de Paula
Renata Elisa Medeiros Jordão
Roberto Mariano de Oliveira Soares
Sandro Augusto Pavlik Haddad
Sergio Luiz Teixeira Camargo
Soleni Guimarães Alves
Suzane Lais De Freitas
Valério Aymoré Martins
Vera Lopes de Assis
Vinicius de Moraes Alves
Vitor Atsushi Nozaki Yano
Wladimir Rodrigues da Fonseca

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.2/24
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

HISTÓRICO DE REVISÕES

Data	Versão	Descrição
02/03/2015	0.1	Versão inicial.
31/03/2015	0.2	Versão para Homologação



Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro - FT – ENE – Latitude
CEP 70.910-900 – Brasília-DF
Tel.: +55 61 3107-5598 – Fax: +55 61 3107-5590

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	Objetivo	6
1.2	Contextualização	6
2	MULTIBIOMETRIA	8
3	FUSÃO.....	10
3.1	Fusão em nível de amostra	10
3.2	Fusão em nível de primitiva	11
3.3	Fusão em nível de pontuação	12
3.4	Fusão em nível de decisão.....	13
4	COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS MULTIMODAIS	16
5	CONCLUSÃO	19
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

Um sistema biométrico é caracterizado pelos diferentes elementos que o compõe: a modalidade biométrica (ex.: impressão digital, face ou voz), o sensor utilizado para amostragem (ex.: leitor de impressão digital óptico ou capacitivo), e os algoritmos usados para pré-processamento, extração de primitivas, comparação e decisão.

Quando o sistema se baseia em uma única fonte de informação biométrica para identificação, ele pode ser classificado como unimodal. Em uma aplicação como o novo Registro de Identidade Civil, que abrange uma grande quantidade de usuários (na ordem de milhões) e exige um alto grau de confiabilidade, é importante levar em consideração algumas limitações e vulnerabilidades a que tais sistemas podem estar sujeitos (ROSS et al, 2006, p. 25), a saber.

- Ruído nos dados – informação de baixa qualidade pode ser adquirida devido a problemas no dispositivo de leitura, condições ambientais ou mesmo no traço biométrico. Exemplo: no caso da impressão digital, sujeira acumulada sobre o sensor, umidade relativa do ar e cicatrizes na superfície do dedo são alguns dos inconvenientes que podem comprometer os dados.
- Variação intraclasse – diferentes amostras capturadas por um sensor ou diferentes dispositivos usados para aquisição podem gerar grande variação entre a informação biométrica de um indivíduo. Em sistemas de reconhecimento facial, por exemplo, variações na iluminação ou no ângulo de captura da imagem, o uso de diferentes câmeras para registro do rosto ou mesmo o envelhecimento podem tornar muito distintas as imagens de uma mesma pessoa.
- Semelhanças interclasse – para um sistema com grande número de usuários, algumas características biométricas podem apresentar semelhanças entre diferentes indivíduos. A quantidade de dados usados para representar a geometria da mão através dos métodos mais comuns, por exemplo, pode não permitir distinguir uma quantidade muito grande de pessoas.
- Baixo grau de universalidade – dependendo da característica biométrica utilizada, um sistema de identificação pode excluir um maior ou menor grupo de indivíduos. Afônicos não podem ser identificados pela voz, assim como analfabetos normalmente não são capazes de assinar. Portadores de deficiências físicas podem

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.5/24
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

não possuir, parcial ou completamente, algum traço fisiológico.

- Tentativas de fraude – algumas características comportamentais de um indivíduo, como a voz ou a assinatura manuscrita, podem ser treinadas e imitadas por um impostor. Características fisiológicas também podem ser reproduzidas em materiais artificiais, burlando alguns sistemas de segurança¹.

A multibiometria é uma técnica que pode ser usada com o objetivo de minimizar estes problemas, através da utilização de múltiplos dados de medidas independentes de diferentes sensores, algoritmos ou modalidades.

1.1 Objetivo

Este relatório técnico apresenta um breve estudo sobre possíveis técnicas de fusão para multibiometria, além de uma comparação entre diferentes sistemas multimodais propostos na literatura científica, visando melhor embasar as tomadas de decisão no escopo do Subprojeto de Controle Biométrico do Projeto RIC.

1.2 Contextualização

O presente relatório vem a complementar o documento “RT Avaliação de Combinações Biométricas Multimodais versão 0.1”, datado de 14/11/2014, produzido pelo grupo de trabalho do Subprojeto de Controle Biométrico do Projeto RIC, o qual apresentava combinações multibiométricas da impressão digital e íris, impressão digital com face e impressão digital com face e íris. Naquele relatório foram apresentadas métricas a fim de qualificar os diferentes sistemas, sem contudo fornecer pormenores sobre os mecanismos de integração das diferentes primitivas.

Visando facilitar a compreensão sobre o uso conjunto de diversos tipos de biometrias, este documento descreve procedimentos para a fusão em nível de amostra, primitiva, pontuação (ou *score*) e em nível de decisão, além de apresentar uma breve comparação entre alguns sistemas biométricos multimodais.

As atividades envolvidas nessa etapa observaram formalmente a execução dos passos

¹ <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,medica-usa-dedo-de-silicone-para-marcas-ponto-de-colegas,1007208>

da metodologia elencada para gestão do projeto, PMI/PMBok.

A equipe da UnB considera que teve acesso a todas as informações necessárias à boa condução dos trabalhos e que a disponibilização dessas informações pela equipe da SE, assim como as atividades conjuntas de análise e discussão, levou a etapa do projeto a bom termo.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.7/24
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

2 MULTIBIOMETRIA

De acordo com o relatório técnico ISO/IEC 24722:2007, multibiometria é o “reconhecimento automatizado de indivíduos baseado em suas características biológicas ou comportamentais que envolve o uso de fusão biométrica” (ISO/IEC JTC 1/SC 37, 2007, p. 6, tradução nossa). Fusão é um termo genérico que abrange qualquer forma de combinação de informações provenientes de múltiplas fontes.

É importante notar que há diferença entre os termos multibiometria e biometria multimodal, dado que o primeiro é um conceito mais amplo que engloba, além da multimodalidade biométrica, outras categorias de fusão de dados em biometria. O relatório define cinco categorias de sistemas multibiométricos:

- Multimodal – identificação através da combinação de múltiplos traços biométricos. Exemplos: impressão digital, veias e geometria da mão (SHAHIN; BADAWI; RASMY, 2008) ou íris e impressão digital (CONTI et al, 2010);
- Multi-instância – uso de múltiplas instâncias de uma mesma modalidade de biometria. Exemplos: identificação pessoal usando as íris esquerda e direita de um indivíduo (WANG; YAO; HAN, 2008) ou impressões digitais de vários dedos (UHL; WILD, 2009);
- Multissensorial – múltiplos sensores usados para amostragem de uma mesma instância biométrica. Exemplos: processamento simultâneo de impressão digital adquirida por sensores óptico e capacitivo (MARCIALIS; ROLI, 2004) e da face por câmera convencional e termográfica (ARANDJELOVIC; HAMMOUD; CIPOLLA, 2006);
- Multialgoritmo – uso de múltiplos algoritmos para o processamento de uma mesma amostra biométrica. Exemplo: diferentes métodos de detecção de face usados para extrair diferentes primitivas de uma mesma imagem facial (XIAO, 2011);
- Multiamostragem – captura de múltiplas amostras de uma mesma instância de uma característica biométrica. Este procedimento pode ser adotado com diferentes finalidades: armazenamento de diferentes amostras de um indivíduo em um banco de dados, confirmação do resultado da identificação, combinação de todas as amostras para obter uma de melhor qualidade. Este tipo de sistema só é considerado multibiométrico quando envolve alguma forma de fusão.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.8/24
--------------------	---------------------	--	----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

Há ainda os chamados sistemas multibiométricos híbridos, que combinam mais de uma forma de multibiometria. A Tabela 1 lista a quantidade mínima necessária de cada elemento de um sistema biométrico para sua classificação como multibiométrico. Note-se, por exemplo, que um sistema multimodal exige, no mínimo um algoritmo e, tipicamente, um sensor para cada modalidade utilizada.

Tabela 1 – Quantidade mínima necessária de cada tipo de elemento para as diferentes categorias de sistemas multibiométricos.

Categoria	Modalidade	Algoritmo	Característica biométrica	Sensor
Multimodal	2	2	2	2*
Multialgoritmo	1	2	1	1
Multi-instância	1	1	2	1
Multissensorial	1	1	1	2
Multiamostrai	1	1	1	1

* Representa um caso típico, embora em alguns casos seja possível o uso de um único sensor para ambas as características biométricas, por exemplo, uma câmera de alta resolução para captura de imagem facial e da íris.

Fonte: ISO/IEC JTC 1/SC 37, 2007, p. 6.

3 FUSÃO

A combinação das diferentes amostras obtidas, a partir de múltiplos traços, instâncias ou sensores, é chamada de fusão, e pode ser executada de diferentes maneiras. Dependendo de como é realizada, associam-se diferentes níveis a esta operação.

3.1 Fusão em nível de amostra

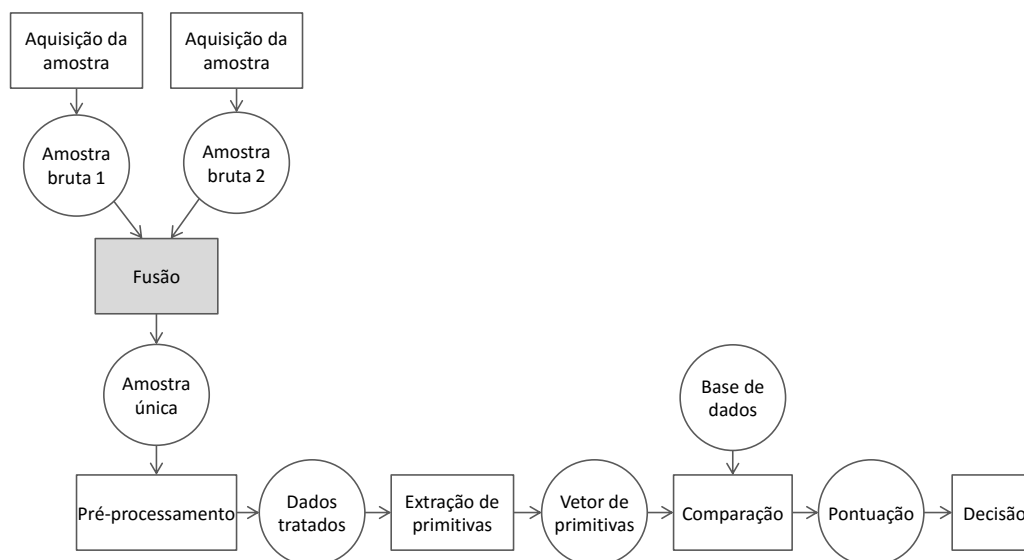


Figura 1 - Fusão em nível de amostra

Quando a fusão é realizada logo após a aquisição das informações biométricas, como ilustrado na Figura 1, é associada ao nível de amostra (ISO/IEC JTC 1/SC 37, 2007). Os dados brutos capturados, sejam imagens, vídeos, sinais de áudio ou um conjunto de valores, podem ser concatenados, combinados por operações como soma e subtração, ou através de algoritmos estatísticos, como média, mediana, máximo e mínimo.

Em sistemas multimodais, a amostra combinada deve trazer informações de todas as características biométricas capturadas. No entanto, este tipo de fusão não é muito utilizado nesses sistemas, por não apresentar vantagens sobre a fusão em outros níveis, além de muitas vezes não ser possível devido à incompatibilidade de formato dos dados adquiridos de diferentes sensores.

Este tipo de fusão é mais comum em sistemas multiapresentação, para obtenção de

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.10/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

uma única amostra de melhor qualidade (HICKLIN; ULERY; WATSON, 2006).

3.2 Fusão em nível de primitiva

O segundo nível em que pode ocorrer a fusão em um sistema multimodal é logo após a extração de primitivas (ISO/IEC JTC 1/SC 37, 2007).

A Figura 2 mostra como é a arquitetura do sistema neste caso. Para um sistema multimodal, as amostras de diferentes características biométricas são pré-processadas e têm suas primitivas extraídas através de processos independentes, resultando em um conjunto de dois ou mais vetores de primitivas. Estes, por sua vez, são combinados em um único vetor para comparação. Os valores armazenados no banco de dados são também vetores combinados (HICKLIN; ULERY; WATSON, 2006; BUBECK, 2003).

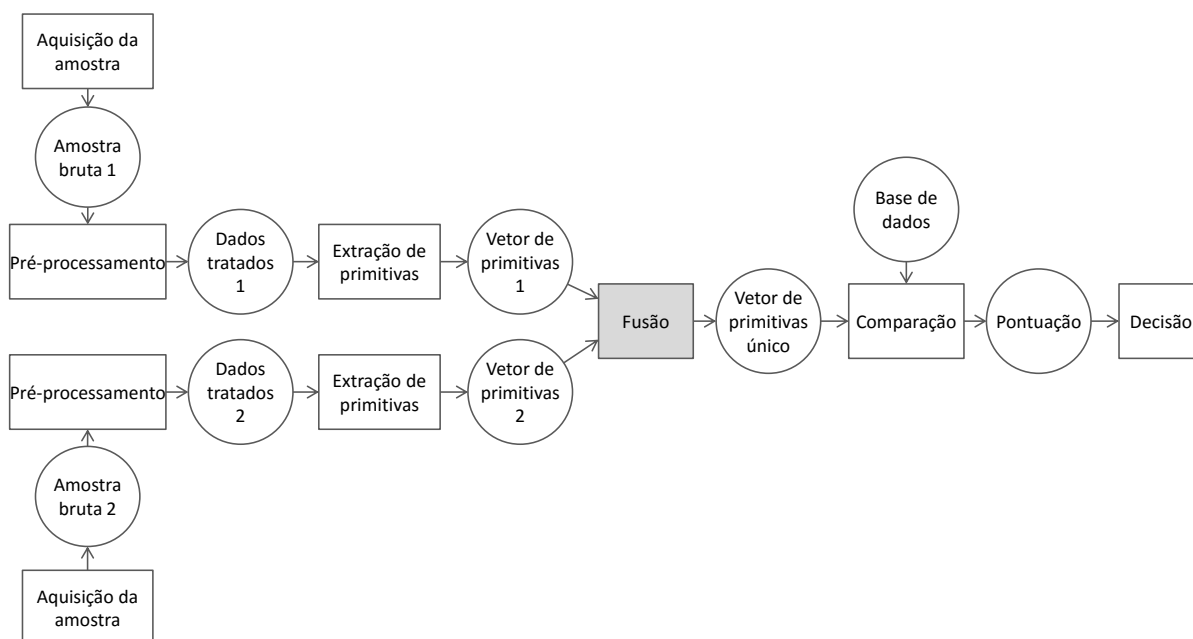


Figura 2 - Fusão em nível de primitiva

Em sistemas multimodais, a fusão em nível de primitiva também costuma ser pouco usada, em função de alguns problemas apresentados na prática (ISO/IEC JTC 1/SC 37, 2007; JAIN; NANDAKUMAR; ROSS, 2006; BUBECK, 2003):

- a concatenação de dois vetores de primitivas pode resultar em um vetor de alta dimensionalidade, dificultando a comparação;
- os valores numéricos dos vetores podem ser incompatíveis, devido a diferentes

ordens de grandezas, bases numéricas, graus de precisão da representação, entre outros;

- ainda que os dados possam ser normalizados, e a dimensionalidade do vetor não seja elevada, a comparação torna-se muito mais complexa, pois a relação entre os diferentes componentes de um vetor de primitivas combinado normalmente é desconhecida e não linear;
- se a relação entre as diferentes primitivas é conhecida, é importante que dados altamente correlacionados sejam descartados, necessitando a aplicação de algoritmos de seleção de primitivas, o que torna o sistema mais complexo.

3.3 Fusão em nível de pontuação

Um dos tipos mais usados de fusão é o realizado em nível de pontuação. Nesta situação, cada traço biométrico é tratado de forma independente até a etapa de comparação, resultando em uma pontuação de correspondência para cada caso, como pode ser observado na Figura 3.

As saídas dos classificadores podem então ser combinadas, através de diferentes abordagens. Porém, antes disso, devem-se levar em conta algumas questões (JAIN; NANDAKUMAR; ROSS, 2006):

- as formas de representação das pontuações podem não ser homogêneas, ou seja, podem representar diferentes medidas. Alguns classificadores medem a distância, ou dissimilaridade, enquanto outros avaliam a proximidade, ou semelhança, entre as amostras;
- as escalas de pontuação de cada classificador não são necessariamente as mesmas;
- por fim, as saídas dos diferentes processos de comparação podem não seguir a mesma distribuição estatística.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.12/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

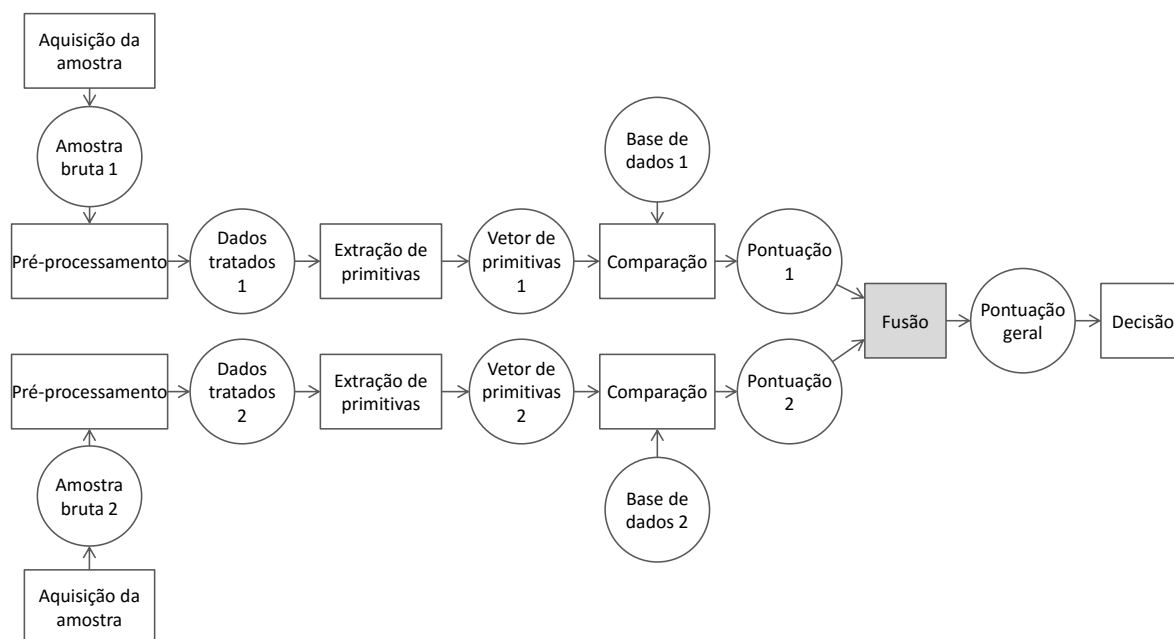


Figura 3 - Fusão em nível de pontuação

Devido a esses fatores, antes da fusão em nível de pontuação, é essencial que seja feita uma normalização dos valores, isto é, um mapeamento destes em um domínio no qual todos possuam o mesmo significado em termos de correspondência biométrica (ISO/IEC JTC 1/SC 37, 2007).

Para isso, podem ser usadas técnicas estatísticas, tais como: Min-max, escalonamento decimal, Z-score, desvio absoluto mediano, dupla sigmoide, tangente hiperbólica, ou estimadores biponderados (JAIN; NANDAKUMAR; ROSS, 2006).

A fusão também pode ser realizada através de diferentes métodos, entre os quais: pontuação máxima, mínima, soma ponderada, produto ponderado, árvore de decisão, análise discriminante linear e redes neurais (ISO/IEC JTC 1/SC 37, 2007).

3.4 Fusão em nível de decisão

Um sistema multimodal que emprega a fusão em nível de decisão engloba dois sistemas biométricos completos, integrando apenas o resultado final de aceitação ou rejeição (Figura 4).

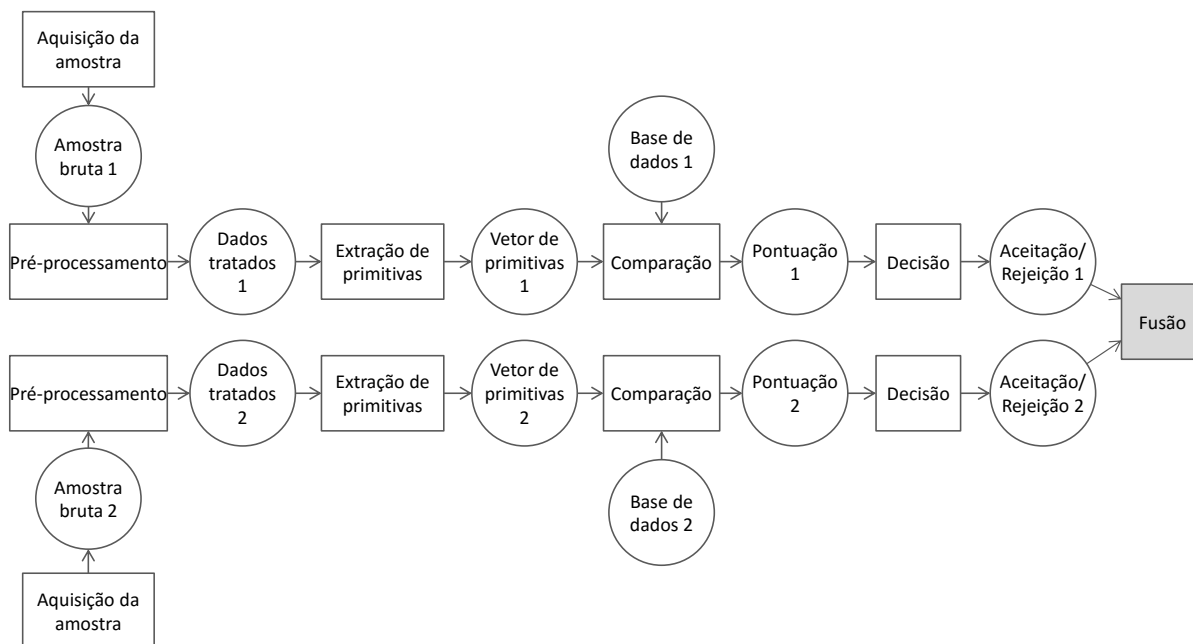


Figura 4 - Fusão em nível de decisão

As regras que podem ser usadas neste tipo de fusão são mais limitadas, uma vez que o resultado da decisão é binário (BUBECK, 2003), são elas.

- A regra AND requer resultados positivos em todos os processos de identificação. Ou seja, é preciso que o usuário seja reconhecido por todos os traços biométricos presentes no sistema para que tenha sua identidade confirmada. Esta estratégia é usada para reduzir a taxa de falsa aceitação, mas ao mesmo tempo pode aumentar a falsa rejeição.
- Por outro lado, a regra OR identifica o usuário se a comparação de pelo menos uma das características biométricas resultar em aceitação. De forma oposta, esta política pode ser usada quando se deseja reduzir a taxa de falsa rejeição, mas pode aumentar a falsa aceitação.
- Outra regra possível é a RANDOM, na qual uma das características biométricas é aleatoriamente escolhida para determinar o resultado final de identificação.

Quando se utilizam mais do que duas modalidades biométricas, as regras podem ser usadas em conjunto, através de expressões de álgebra booleana. Pode-se ainda utilizar a fusão por voto majoritário (KUNCHEVA, 2004), na qual a decisão de cada subsistema corresponde a um voto e o resultado final corresponde ao dado pela maioria. Neste caso, é preferível usar um número ímpar de características, para evitar um empate de resultados.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.15/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

4 COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS MULTIMODAIS

A Tabela 2 lista alguns sistemas biométricos multimodais relevantes propostos na literatura científica. É possível observar que, em todos os casos, há um ganho significativo ao se optar pela abordagem multibiométrica.

No entanto, alguns fatores dificultam o estabelecimento de uma comparação direta entre os diferentes sistemas, dentre os quais:

- a inexistência de uma única base de dados de larga escala composta por diferentes amostras de traços biométricos de indivíduos;
- a falta de uma padronização de critérios para uma avaliação comparativa;
- a grande variedade de aplicações e formas de combinação, que exigem diferentes requisitos de amostragem e de desempenho.

Assim, não há como relacionar a redução na aceitabilidade com um aumento na precisão de um sistema multimodal genericamente. Mesmo entre sistemas que usam os mesmos traços biométricos (face e impressão digital, por exemplo), os diferentes métodos usados para cada modalidade, o nível e os algoritmos de normalização e fusão não permitem determinar uma única forma de classificação qualitativa. Além disso, o tamanho das bases de dados, a distribuição da população amostrada (idade, sexo, etnia) e as condições de aquisição (iluminação, ambiente, sensor utilizado) variam em cada estudo, dificultando a comparação, ainda que apenas em nível de taxas de erros.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.16/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

Tabela 2 – Resumo de sistemas biométricos multimodais.

Trabalho	Número de sujeitos	Modalidades	Nível de fusão	Técnicas de fusão	Resultados
Jain, Nandakumar, Ross (2005)	100	Face, impressão digital, geometria da mão	Pontuação	Soma simples, máximo, mínimo	O melhor sistema unimodal do estudo apresentou uma FRR de 16,4% para FAR de 0,1%, enquanto a abordagem multimodal atingiu 1,4%.
Snelick et al (2005)	972	Face, impressão digital	Pontuação	Soma simples, mínimo, máximo, soma ponderada por classificador, soma ponderada por usuário	A EER para impressão digital e face isoladamente foram respectivamente de 2,16% e 3,76%, enquanto a fusão obteve 0,63%
Fierrez-Aguilar et al (2003)	50	Face, impressão digital, assinatura	Pontuação	Soma simples, SVM independente e dependente de usuário	A EER para face, assinatura e impressão digital foram respectivamente de 10%, 4% e 3%, enquanto as diferentes técnicas de fusão atingiram 0,5%, 0,3% e 0,05%, respectivamente
Kumar (2003)	100	Impressão palmar, geometria da mão	Primitivas, pontuação	Máximo	O melhor sistema unimodal no estudo obteve FAR de 4,49% para FRR de 2,04%, enquanto a abordagem multimodal atingiu FAR de 0% para FRR de 1,41%
Ross, Jain (2003)	100	Face, impressão digital, geometria da mão	Pontuação	Soma, árvores de decisão, LDA	O melhor sistema unimodal no estudo obteve FRR de 25% para FAR de 0,01%, enquanto a abordagem multimodal atingiu FRR de 1,78% para FAR de 0,03%
Bigün et al (1997)	130	Face, íris	Pontuação	Soma, redes neurais	Todas as estratégias de fusão superaram as abordagens unimodais
Hong, Jain (1998)	236	Face, impressão digital	Decisão	–	A FRR para impressão digital e face isoladamente foram respectivamente de 10,6% e 61,2% para FAR de 0,01%, enquanto para a fusão foi de 6,6%
Brunelli, Falavigna (1995)	–	Face, voz	Pontuação	Média geométrica ponderada	Voz e face apresentaram, respectivamente, taxas de acerto de 88% e 91%, enquanto a abordagem multimodal atingiu 98%
Frischholz, Dieckmann (1998)	150	Face, voz, movimento dos lábios	Pontuação	–	Experimentos demonstraram uma redução abaixo de 1% da FAR

Fonte: WANG; LIU, 2011.

O grau de confiança na avaliação de desempenho de um sistema biométrico está diretamente relacionado ao tamanho do banco de dados usado para testes. Sistemas unibiométricos baseados em face e impressão digital, por exemplo, já foram testados em

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.17/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

bases contendo centenas de milhares a milhões de usuários (WILSON et al, 2003). Já no caso dos sistemas multimodais, não há bases de dados de larga escala disponíveis para testes. Embora aplicações reais de identificação civil muitas vezes precisem abranger um número de usuários na ordem de milhões, bases de dados multimodais para fins de pesquisa não contêm mais do que 1.000 usuários.

Visando contornar essa restrição, alguns estudos utilizam bases de dados multimodais “virtuais”, combinando bases de diferentes modalidades pela associação de cada indivíduo de uma base a um correspondente na outra. Essa estratégia, no entanto, é considerada uma falha metodológica (FLYNN, 2008), por considerar que os diferentes traços biométricos das pessoas são estatisticamente independentes sem que haja nenhuma prova científica disto.

A Tabela 3 lista as principais características de diferentes bases de dados biométricas multimodais reais.

Tabela 3 – Resumo das características de bases de dados biométricas multimodais.

Base de dados	Número de sujeitos	Face 2D	Face 3D	Digital	Mão	Escrita	Íris	Digitação	Assinatura	Voz
BiosecurID	400	X		X	X	X	X	X	X	X
BiosecurID Internet	1000	X								X
BIOSECURE PC	700	X		X	X		X		X	X
BIOSECURE Mobile	700	X		X					X	X
BIOSEC	250	X		X			X			X
MyIDEA	104	X		X	X	X			X	X
BIOMET	91	X	X	X	X				X	X
MCYT	330			X					X	
BANCA	208	X								X
MBioID	120	X		X			X		X	X
M3	32	X		X						X
XM2VTS	295	X								X
SmartKom	96			X	X				X	X
FRGC	741	X	X							

Fonte: FIERREZ et al, 2010.

5 CONCLUSÃO

Embora todos os tipos de multibiometria busquem lidar, de alguma forma, com os problemas citados anteriormente, a abordagem multimodal apresenta vantagens sobre os outros tipos quando consideradas as limitações intrínsecas às características biométricas.

A quantidade de informação discriminante nas medidas de geometria da mão, por exemplo, é naturalmente restrita, o que significa que, ainda que sejam aperfeiçoados os dispositivos e métodos de aquisição, extração de primitivas e comparação, há um limite superior no desempenho de um sistema baseado neste traço biométrico (GOLFARELLI et al, 1997). Ainda que este limite apresente níveis diferentes, o mesmo ocorre com qualquer outra característica biométrica.

Sistemas multimodais, multi-instância, multissensoriais e multiamostrais, em geral, reduzem os problemas associados ao ruído na aquisição de dados, já que a baixa qualidade de uma amostra pode ser compensada por outra. Dependendo do método de fusão, a amostra de menor qualidade pode até mesmo ser descartada. Se o ruído ocorrer devido a problemas no sensor, esta vantagem só existe caso as amostras sejam adquiridas por diferentes dispositivos. Caso o problema esteja associado ao próprio traço biométrico, só há benefício quando mais de uma característica biométrica é utilizada.

Da mesma forma, dado o limite superior natural de discriminação de um traço biométrico, a redução da variabilidade intraclasse e/ou das similaridades interclasse só pode ser atingida pela combinação adequada de amostras biométricas pertencentes a diferentes características.

A universalidade de um sistema biométrico também só é melhorada no caso em que uma característica possa ser usada na ausência de outra. O uso de mais de uma instância de impressão digital, por exemplo, não supera esta limitação no caso de usuários que não possuem ambas as mãos ou que não possuem as dobras cutâneas em nenhum dos dedos.

Uma das principais desvantagens dos sistemas multibiométricos, sejam multimodais ou não, é o custo, que tende a ser mais elevado quando se emprega um maior número de sensores, algoritmos e/ou espaço para armazenamento de dados.

Outra dificuldade na implementação da biometria multimodal é a aceitação por parte dos usuários. Assim como cada característica biométrica tem um grau de aceitabilidade, a combinação de mais de uma normalmente apresenta uma maior resistência, principalmente

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.19/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

por questões relacionadas à privacidade. A ideia que pode ser passada é que quanto mais dados se tem da pessoa, mais fácil rastreá-la.

Além disso, a necessidade de aquisição de mais de uma característica pode gerar inconvenientes ao indivíduo. Este processo pode ser realizado sequencial ou simultaneamente: em ambos os casos, normalmente é preciso uma maior cooperação do usuário.

Para um processo de captura de informações em sequência, um tempo consideravelmente maior é necessário, enquanto para a aquisição de múltiplos traços biométricos simultaneamente há uma maior dificuldade para o correto posicionamento em todos os sensores ao mesmo tempo.

Desta forma, o uso da multibiometria é recomendado para sistemas de larga escala (com grande número de usuários) e sistemas em que alto grau de segurança é necessário, como o Registro de Identidade Civil. Para estes casos, a biometria multimodal é a mais indicada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANDJELOVIC, Ognjen; HAMMOUD, Riad; CIPOLLA, Roberto. Multi-sensory face biometric fusion (for personal identification). In: CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION WORKSHOP, 2006, New York. **Proceedings of the CVPRW'06**, Piscataway: IEEE Publishing, 2006. p. 128-135.

BIGÜN, E. S. et al. Expert Conciliation for Multimodal Person Authentication Systems using Bayesian Statistics. In: BIGÜN, J.; BORGEFORS, G.; CHOLLET G. (Ed.) **Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication**. New York: Springer, 1997. (Lecture Notes in Computer Science, v. 1206, p. 291-300)

BRUNELLI, R.; FALAVIGNA, D. Person identification using multiple cues. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 17, n. 10, p. 955-966, 1995.

BUBECK, Uwe. **Multibiometric authentication**: an overview of recent developments, San Diego, Spring 2003. Disponível em:
<<http://www.thuktun.org/cs574/papers/multibiometrics.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

CONTI, Vincenzo; MILITELLO, Carmelo; SORBELLO, Filippo; VITABILE, Salvatore. A frequency-based approach for features fusion in fingerprint and iris multimodal biometric identification systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews**, v. 40, n. 4, p. 384-395, July 2010.

FIERREZ, J. et al. BiosecurlD: a multimodal biometric database. **Pattern Analysis and Applications**, v. 13, n. 2, p. 235-246, May 2010.

FIERREZ-AGUILAR, J. et al. A Comparative Evaluation of Fusion Strategies for Multimodal Biometric Verification. In: KITTLER, J.; NIXON, M. S. (Ed.) **Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication**. New York: Springer, 2003. (Lecture Notes in Computer Science, v. 2688, p. 830-837)

FLYNN, Patrick J. Biometric Databases. In: JAIN, Anil K.; FLYNN, Patrick J.; ROSS, Arun A. (Ed.) **Handbook of Biometrics**. New York: Springer, 2008.

FRISCHHOLZ, R. W.; DIECKMANN, U. BioID: A multimodal biometric identification system. **Computer**, v. 33, n. 2, p. 64-68, Feb. 2000.

GOLFARELLI, Matteo; MAIO, Dario; MALTONI, Davide. On the error-reject trade-off in biometric verification systems. **IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence**, New York, v. 19, n. 7, p.786-796, jul. 1997.

HICKLIN, Austin; ULERY, Brad; WATSON, Craig. **A brief introduction to biometric fusion**. Falls Church: Noblis, 16 June 2006. Disponível em:
<http://www.noblis.org/media/ed91017a-77f7-4e76-bdf6-86f3070a0ef2/docs/article_brief_intro_biometric_fusion_pdf>. Acesso em: 01 ago. 2014.

HONG, L.; JAIN, A. K.; Integrating faces and fingerprints for personal identification. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 20, n. 12, p. 1295-1307, 1998.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.21/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

ISO/IEC JTC 1/SC 37. **Technical Report ISO/IEC TR 24722**: Information Technology — Biometrics — Multimodal and other multibiometric fusion. 1st ed. London: BSI, Jul. 2007.

KUMAR, A. et al. Personal Verification Using Palmprint and Hand Geometry Biometric. In: KITTNER, J.; NIXON, M. S. (Ed.) **Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication**. New York: Springer, 2003. (Lecture Notes in Computer Science, v. 2688, p. 668-678)

MARCIALIS, Gian L.; ROLI, Fabio. Fingerprint verification by decision-level fusion of optical and capacitive sensors. **Pattern Recognition Letters**, v. 25, n. 22, p. 1315-1322, Aug. 2004.

ROMERO, Joshua J. Fast start for world's biggest biometrics ID project. **IEEE Spectrum**, v. 48, n. 5, p. 11-12, May 2011.

ROSS, Arun A.; JAIN, Anil K. Information fusion in biometrics. **Pattern Recognition Letters**, v. 24, n. 13, p. 2115-2125, 2003.

ROSS, Arun A.; NANDAKUMAR, Karthik; JAIN, Anil K. **Handbook of Multibiometrics**. New York: Springer, 2006, 198 p. (International Series on Biometrics, v. 5)

ROSS, Arun A.; NANDAKUMAR, Karthik; JAIN, Anil K. Score normalization in multimodal biometric systems. **Pattern Recognition**, v. 38, n. 12, p. 2270-2285, 2005.

SHAHIN, M. K.; BADAWEI, A. M.; RASMY, E. A multimodal hand vein, hand geometry, and fingerprint prototype design for high security biometrics. In: CAIRO INTERNATIONAL BIOMEDICAL ENGINEERING CONFERENCE, 4., 2008, Cairo. **Proceedings of the CIBEC 2008**. Piscataway: IEEE Publishing, 2008. p. 1-6.

SNELICK, Robert et al. Large Scale Evaluation of Multimodal Biometric Authentication Using State-of-the-Art Systems. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 27, n. 3, p. 450-455, Mar. 2005.

UHL, Andreas; WILD, Peter. Single-sensor multi-instance fingerprint and eigenfinger recognition using (weighted) score combination methods. **International Journal on Biometrics**, v. 1, n. 4, p. 442-462, July 2009. Special Issue on Multimodal Biometric and Biometric Fusion.

UNIQUE IDENTIFICATION AUTHORITY OF INDIA. **UID Enrolment Proof-of-Concept Report**. New Delhi: UIDAI, 2010. Disponível em: <http://uidai.gov.in/images/FrontPageUpdates/uid_enrolment_poc_report.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2014.

UNIQUE IDENTIFICATION AUTHORITY OF INDIA. **Role of Biometric Technology in Aadhaar Enrollment**. New Delhi: UIDAI, Jan. 2012. Disponível em: <http://uidai.gov.in/images/FrontPageUpdates/role_of_biometric_technology_in_aadhaar_jan21_2012.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2014.

WANG, Fenghua; YAO, Xianghua; HAN, Jiuqiang. Improving iris recognition performance via multi-instance fusion at the score level. **Chinese Optics Letters**, v. 6, n. 11, p. 824-826, Nov. 2008.

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.22/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.

É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

WANG, Yu; LIU, Zaiwen. A Survey on Multimodal Biometrics. In: LEE, G. (Ed.) **Advances in Automation and Robotics**, v. 2, n. 123, p. 387-396, 2011.

WILSON, Charles L. et al. **NIST Interagency/Internal Report (NISTIR) 7020**: Studies of Fingerprint Matching Using the NIST Verification Test Bed (VTB). Gaithersburg: NIST, July 2003. Disponível em: <http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub_id=50783>. Acesso em: 05 ago. 2014.

XIAO, Qinghan; Using fuzzy adaptive fusion in face detection. In: IEEE WORKSHOP ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE IN BIOMETRICS AND IDENTITY MANAGEMENT, 2011, Paris. **Proceedings of CIBIM 2011**, Piscataway: IEEE Publishing, 2011. p. 157-162

Projeto: MJ/SE-RIC	Emissão: 31/03/2015	Arquivo: 20150331MJ RIC - RT Estudo Fusao Multibiometria Desemp Sist Multimodais	Pág.23/24
--------------------	---------------------	--	-----------

Confidencial.

Este documento foi elaborado pela Universidade de Brasília (UnB) para a MJ/SE.
É vedada a cópia e a distribuição deste documento ou de suas partes sem o consentimento, por escrito, da MJ/SE.

Universidade de Brasília – UnB

Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico – CDT

Laboratório de Tecnologias da Tomada de Decisão – LATITUDE

www.unb.br – www.cdt.unb.br – www.latitude.eng.br

