

## 4 Avaliação Experimental

Este capítulo apresenta uma avaliação experimental dos métodos e técnicas aplicados neste trabalho. Base para esta avaliação foi o protótipo descrito no capítulo anterior. Dentre os aspectos avaliados estão o método de localização da íris, o efeito da oclusão, o desempenho do sistema de captura e a implementação dos métodos de reconhecimento. Antes de apresentar os resultados propriamente ditos este capítulo descreve em sua próxima seção as características dos bancos de dados utilizados nos experimentos.

### 4.1. Bancos de dados utilizados

Para a elaboração dos experimentos e testes foram construídos dois bancos de dados utilizando o dispositivo de captura das imagens descrito na seção 3.3. Utilizou-se ainda um terceiro banco de imagens produzido por outro grupo de pesquisa da universidade de Beijing, China. As características destes bancos de imagens são descritas abaixo:

Banco LVC - 1 (Laboratório de Visão Computacional)

- Total de Imagens: 200
- Dimensão da imagem: 640x480 pixels
- Tipo: bmp 24 bits
- Pessoas: 10
- Íris Diferentes: 20
- Numero de imagens por íris: 10
- Imagens da mesma íris em sessões diferentes: Sim

- Propriedade: Laboratório de Visão Computacional, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC, Rio de Janeiro, Brasil.

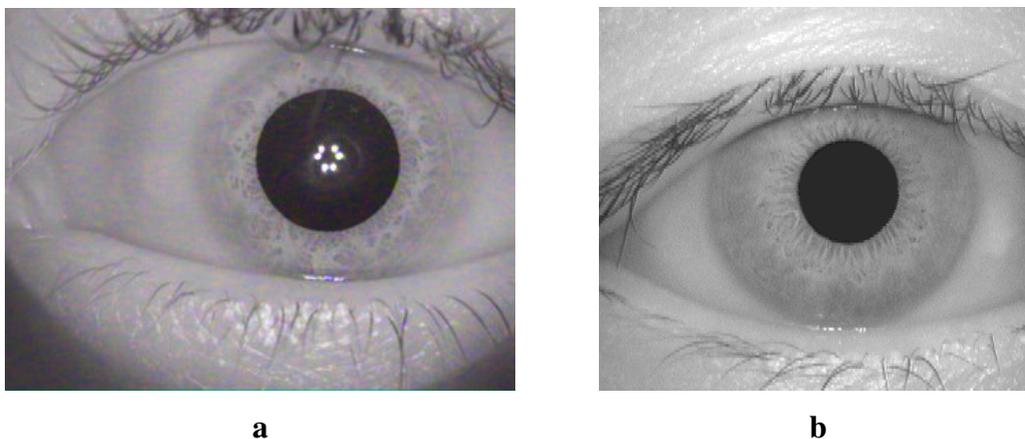
#### Banco LVC - 2 (Laboratório de Visão Computacional)

- Total de Imagens: 72
- Dimensão da imagem: 640x480 pixels
- Tipo: bmp 24 bits
- Pessoas: 6
- Íris Diferentes: 12
- Numero de imagens por íris: 6
- Imagens da mesma íris em sessões diferentes: Sim
- Propriedade: Laboratório de Visão Computacional, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC, Rio de Janeiro, Brasil.

#### Banco CASSIA

- Total de Imagens: 756
- Dimensão da imagem: 320x280 pixels
- Tipo: bmp 256 cores.
- Pessoas: 80
- Íris Diferentes: 108
- Numero de imagens por íris: 7
- Imagens da mesma íris em sessões diferentes: Sim
- Propriedade: Iris Recognition Research Group, National Laboratory of Pattern, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

A Figura 25 mostra dois exemplos de imagens dos bancos de dados LVC e CASSIA. Cabe mencionar que em todos estes experimentos as imagens foram inicialmente convertidas para tons de cinza em 8 bits por pixel.



**Figura 25 – Exemplo de imagens (a) do banco LVC-1/2 e (b) CASSIA**

## **4.2. Análise de desempenho**

Esta seção apresenta um conjunto de experimentos realizados para validar o protótipo construído e para avaliar aspectos importantes do processo de reconhecimento baseado em íris.

### **4.2.1. Avaliação do método de localização da íris**

O método proposto de localização do contorno da pupila foi comparado com o método de Daugman em termos de eficiência computacional e exatidão na localização.

Ambos os métodos foram implementados no ambiente MATLAB 7.04. Para a implementação do método de John Daugman utilizou-se como base a descrição em [2]. Para cada experimento foram usadas as 200 imagens do banco de íris LVC-1.

O acerto da localização da íris foi verificado visualmente para cada um dos métodos analisados. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos. Os experimentos indicam, portanto, uma clara superioridade do método proposto.

**Taxa de acerto do procedimento de  
detecção do contorno da pupila**

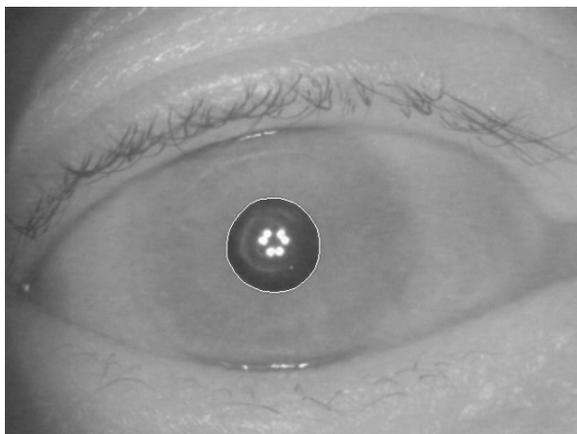
| Método proposto | Método de Daugman |
|-----------------|-------------------|
| 198/200 (99%)   | 182/200 (91%)     |

**Tabela 1 : Resultado da avaliação do método de localização do contorno da pupila**

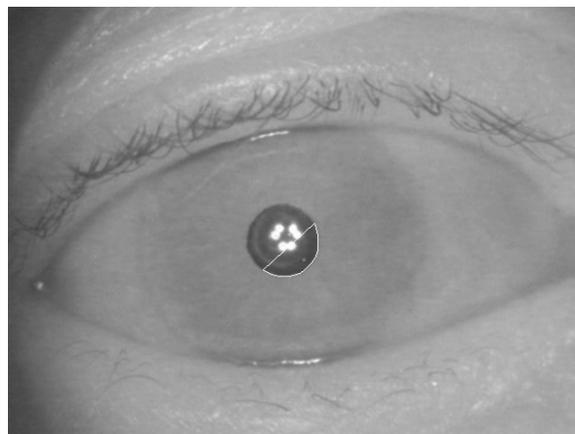
O tempo de processamento foi cerca de 25% menor para o método proposto do que para o método de Daugman. Especialmente considerando o ambiente de programação utilizado, os tempos de execução são muito dependentes da perícia e estilo do programador. A diferença observada é, diante disso, pequena, e não permite afirmar definitivamente a superioridade do método em termos computacionais.

Cabe aqui mencionar que o método proposto explora particularidades do dispositivo de captura utilizado, e é, portanto, de aplicabilidade restrita. Observa-se também nos experimentos que o método de Daugman é mais robusto a situações de muita oclusão.

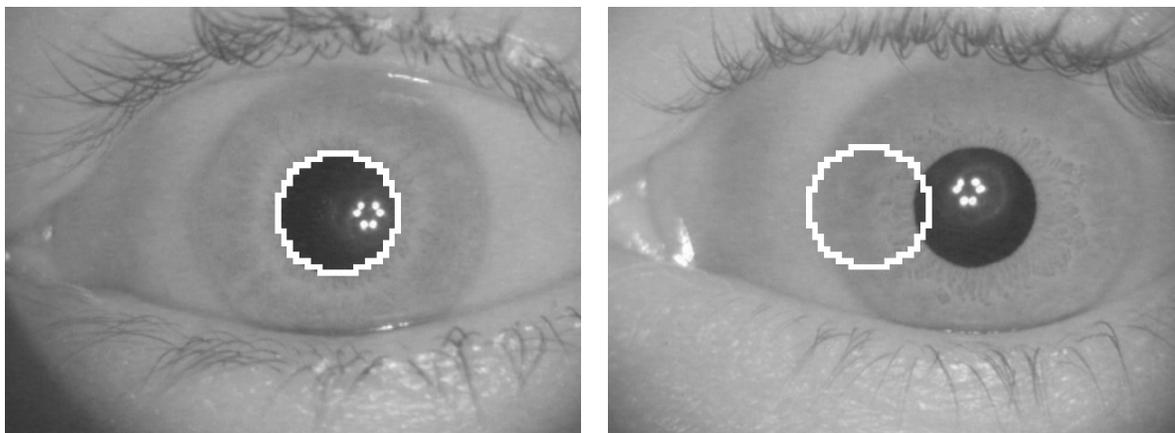
A Figura 26 mostra exemplos de localização da pupila pelos dois métodos, a verificação de uma linha de contorno da pupila mais grossa no método de Daugman, é devido redução de dimensionalidade para pesquisa de parâmetros utilizada no método.



**exemplo de localização correta pelo método proposto**



**exemplo de localização incorreta pelo método proposto**



**exemplo de localização correta pelo método de Daugman**

**exemplo de localização incorreta pelo método de Daugman**

**Figura 26 – Exemplos de localização de pupila pelo método proposto e pelo método de Daugman.**

#### 4.2.2.

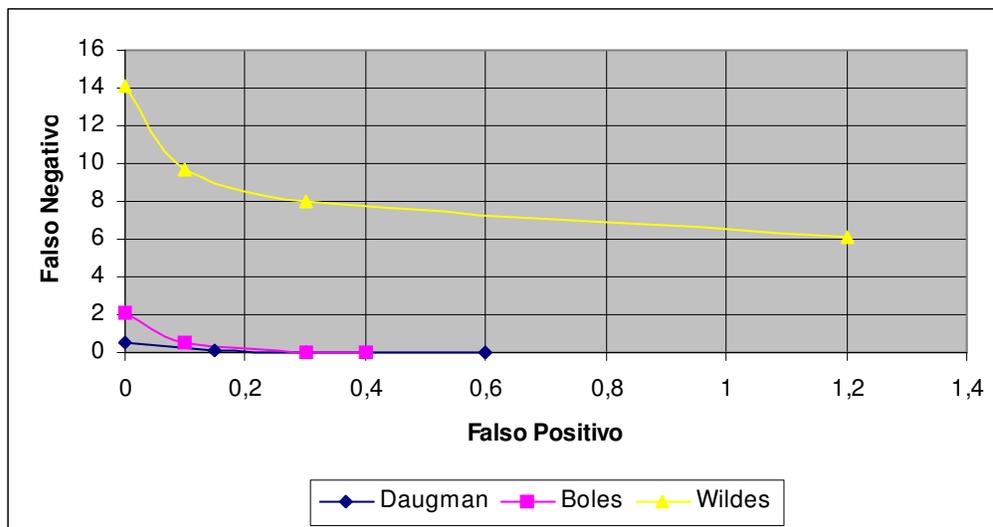
##### **Avaliação do efeito da oclusão**

No protótipo construído estima-se a área de oclusão, mas, conforme foi salientado na seção 3.4.3, esta informação é apenas usada como um indicador ao usuário quanto à qualidade da imagem capturada. A questão da oclusão não é tratada na implementação atual do sistema. Em vista disso, uma questão relevante a avaliar é o impacto da oclusão sobre o desempenho do sistema. Dois experimentos foram realizados para tratar esta questão.

O primeiro experimento teve o propósito de avaliar o protótipo como um todo a partir de imagens com muito pouca ou nenhuma oclusão. Para isso foram selecionadas do banco do LVC-1 6 íris, e de cada uma entre 8 e 10 imagens com praticamente nenhuma oclusão. A partir deste conjunto foi possível criar 225 pares de imagens de uma mesma íris (positivos) e 1.115 pares de imagens de íris distintas (negativos).

Variando-se os limiares de aceitação, foi possível levantar o comportamento de cada método em termos de proporção de falso negativo (imagens de uma mesma íris consideradas pelo protótipo como de pessoas distintas) e de falso positivo (imagens

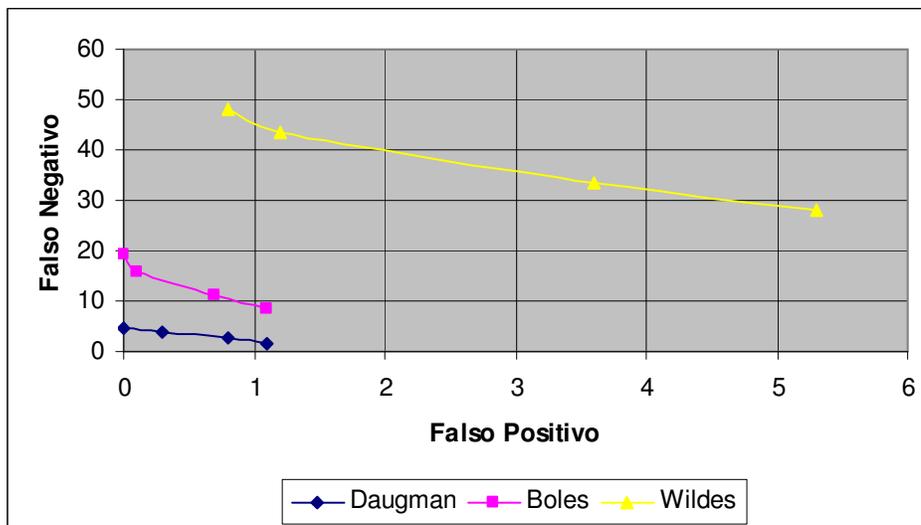
de íris diferentes consideradas pelo protótipo como de uma mesma íris). Os resultados estão apresentados resumidamente no gráfico 1, mostrada abaixo:



**Figura 27 - Teste de falso positivo e falso negativo do experimento com imagens praticamente sem oclusão do banco LVC-1**

Contrariando a expectativa inicial, o método de Boles apresentou desempenho próximo ao método de Daugman. O método de Wildes, como, aliás, se confirmou em todos os demais experimentos realizados, é claramente o pior entre os métodos considerados.

Para estimar o impacto da oclusão realizou-se um segundo experimento, semelhante ao primeiro, em que se usaram desta vez todas as imagens do banco do LVC-1, em que a porcentagem de oclusão não era superior a 20% da área da imagem normalizada. A partir destas imagens foi possível criar 626 positivos e 12.415 negativos. Os resultados obtidos deste experimento encontram-se abaixo no gráfico 2, e relacionam os testes de falso positivo e falso negativo para diferentes limiares em cada um dos métodos.



**Figura 28 - Teste de falso positivo e falso negativo do experimento com imagens com oclusão controlada do banco LVC-1**

Comparando os resultados do Gráfico 1 e do Gráfico 2, constata-se que todos os métodos são fortemente afetados pela oclusão, em particular o método de Wildes. O método de Daugman demonstrou ser, entre os métodos analisados, o mais robusto.

Estes resultados sugerem que acrescentar um tratamento de oclusão no processo de reconhecimento poderá trazer um ganho expressivo de desempenho para o sistema.

Apesar disso, os resultados do gráfico 2 indicam claramente que o protótipo construído permite operar com elevado nível de segurança. A porcentagem de falso positivo próximo de zero no algoritmo de Daugman corresponde a 4,6% de falso negativo, que parece ser tolerável em aplicações de alta segurança, Vale mencionar que o falso negativo traz consigo apenas o inconveniente de exigir que o indivíduo falsamente rejeitado capture uma segunda vez a imagem de sua íris com mais cuidado para reduzir as oclusões.

### 4.2.3.

#### **Avaliação do sistema de captura**

Esta seção apresenta uma avaliação do sistema de captura de imagens montado neste trabalho. Para isso aplicam-se as funções de pré-processamento e os três métodos de representação e reconhecimento que compõem o protótipo usando os três bancos de imagens mencionados na seção 4.1 construídos com dispositivos de captura sob condições distintas.

Cabe aqui mencionar uma diferença importante entre os bancos LVC-1 e LVC-2 construídos no Laboratório de Visão Computacional da PUC-RIO, utilizando o dispositivo de captura descrito na seção 3.3. Na construção do banco LVC-1 houve um cuidado especial de modo a incluir apenas imagens de boa qualidade e com relativamente pouca oclusão. Durante a construção do banco LVC-2 os indivíduos tinham muito menos supervisão da equipe do Laboratório, de modo que as imagens assim obtidas são mais representativas de uma situação de operação normal.

Não se conhecem as condições em que foi montado o terceiro banco de dados, denominado CASSIA, gentilmente cedido pela Universidade de Beijing. A inspeção visual das imagens deste banco indica apenas que todas possuem um nível mais ou menos constante de oclusão. Os experimentos realizados não usaram, contudo, todo o banco, mas apenas imagens de 30 íris, selecionadas aleatoriamente, 7 imagens por íris, num total de 210 imagens.

O gráfico 3 apresenta os resultados obtidos usando o banco LVC-1. Neste experimento havia um total de 900 positivos e 19 mil negativos.

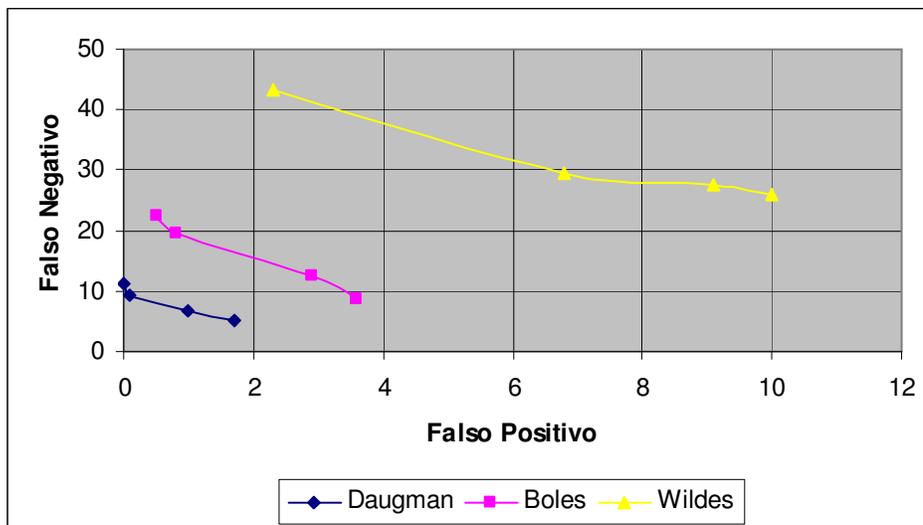


Figura 29 - Desempenho para o banco de dados LVC-1

O gráfico 4 contém os resultados experimentais obtidos a partir do banco LVC-2. O números dizem respeito a um universo de 180 positivos e 2.376 negativos.

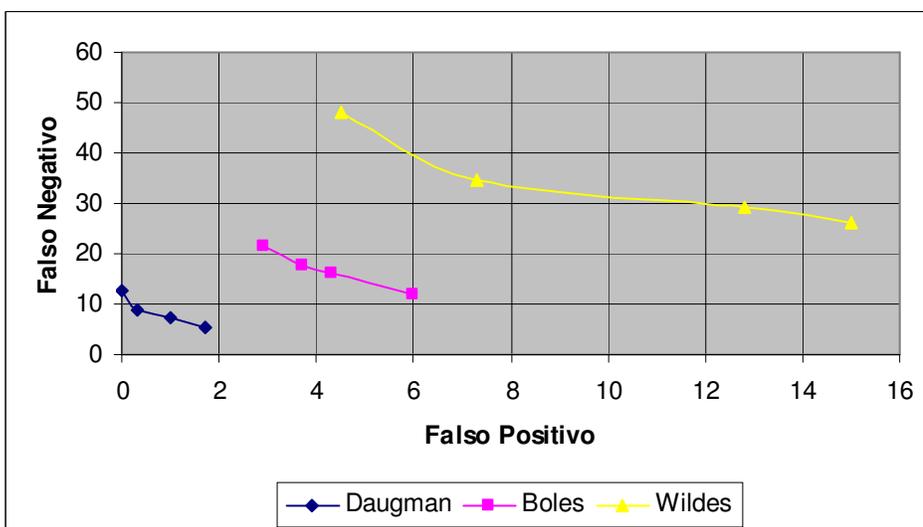
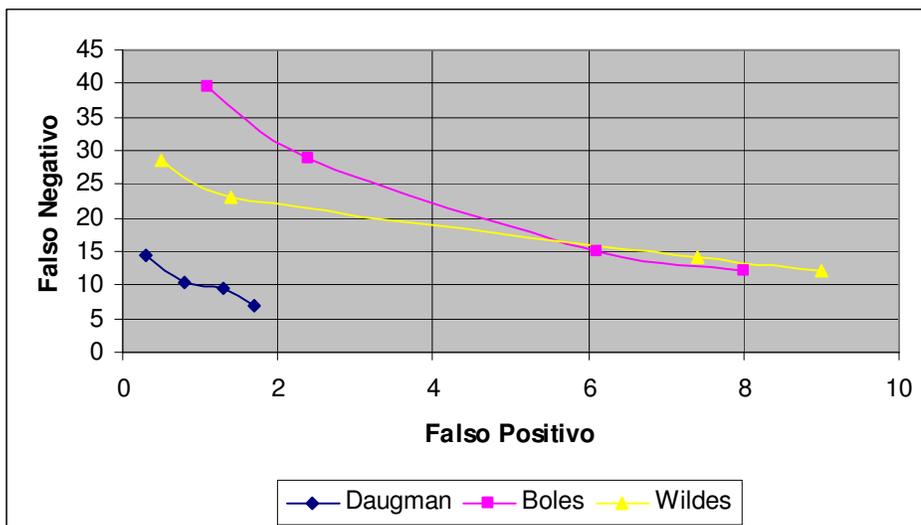


Figura 30 - Desempenho para o banco de dados LVC-2

Já para o experimento com banco de imagens CASSIA foram usadas 30 íris diferentes num total de 210 imagens, com o que se formaram 630 positivos e 21.315 negativos. Os resultados estão apresentados no gráfico 5.



**Figura 31 - Desempenho para o banco de dados CASSIA**

Os resultados apresentados nos gráficos de 4 a 6 sugerem que o mecanismo de captura de imagens de íris montado neste trabalho e usado para construir os bancos de dados LVC-1 e LVC-2 têm qualidade compatível com a do sistema utilizado na montagem do banco CASSIA. Este banco de dados tem sido usado em vários outros trabalhos científicos ao redor do mundo, como por exemplo, no trabalho de Li Ma, já muitas vezes referenciado neste documento.

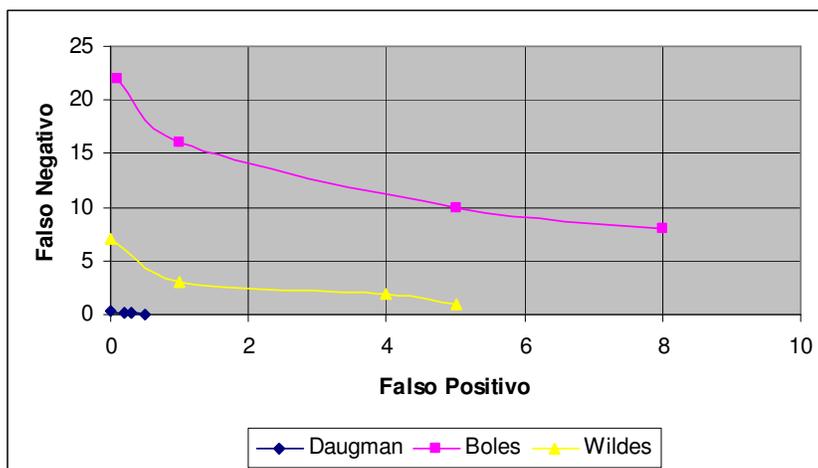
Os experimentos relatados nesta seção provêm, assim evidência a favor da qualidade do sistema de captura de imagem construído neste trabalho.

#### 4.2.4.

#### Avaliação da implementação

Os experimentos descritos nesta seção têm o objetivo de avaliar quão fielmente os programas escritos neste trabalho implementam os métodos de representação e reconhecimento de íris propostos por Daugman, Boles e Wildes.

O gráfico 6 contém dados publicados no trabalho de Li Ma [18] que avalia os mesmos métodos utilizando o banco de dados CASSIA.



**Figura 32 - Desempenho para o banco de dados CASSIA apresentados no trabalho de Li Ma.**

Comparando as curvas do gráfico 6 com os dados do gráfico 5, nota-se que Li Ma obteve desempenho superior aos verificados em nosso protótipo.

Esta diferença resulta de alguns fatores. Em primeiro lugar, nossos experimentos usaram apenas parte do banco CASSIA, enquanto Li Ma utilizou todo o banco. Em segundo lugar os valores dos diversos parâmetros de cada um dos três métodos considerados são muito provavelmente diferentes. De fato a documentação disponível sobre o trabalho de Li Ma não informa os valores destes parâmetros em seus experimentos.

Uma terceira explicação é que foi utilizado o mesmo algoritmo de pré-processamento das imagens na avaliação dos três métodos. Há indícios de que Li Ma aplicou algoritmo de pré-processamento distintos para cada método avaliado, e em particular distinto do utilizado em nossos experimentos.

O fator provavelmente mais importante que justifica a diferença de desempenho em relação ao trabalho de Li Ma é que nosso protótipo não trata do problema da oclusão no procedimento de reconhecimento, conforme já foi mencionado na seção 4.2.2.

Conclui-se que as funções de reconhecimento do protótipo construído neste trabalho, embora apresentem bom desempenho, ainda podem ser refinadas e atingir desempenho bem superior. Acredita-se que boa parte deste ganho advirá do tratamento de oclusões.