

## 5 Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados das medidas experimentais feitas no presente trabalho. Para facilitar a compreensão, o texto procura seguir a mesma seqüência que aquela apresentada nos capítulos 3 e 4.

### 5.1 Intensidade da luz emitida pelo LED

A Figura. 5.1 mostra a intensidade de luz emitida pelo LED de 5 mm de diâmetro em função da corrente aplicada no mesmo. O LED foi conectado a um circuito elétrico de duas resistências (ver seção 3.1.3) e a intensidade de luz foi medida com o fotospectrômetro Ocean Optics [25].

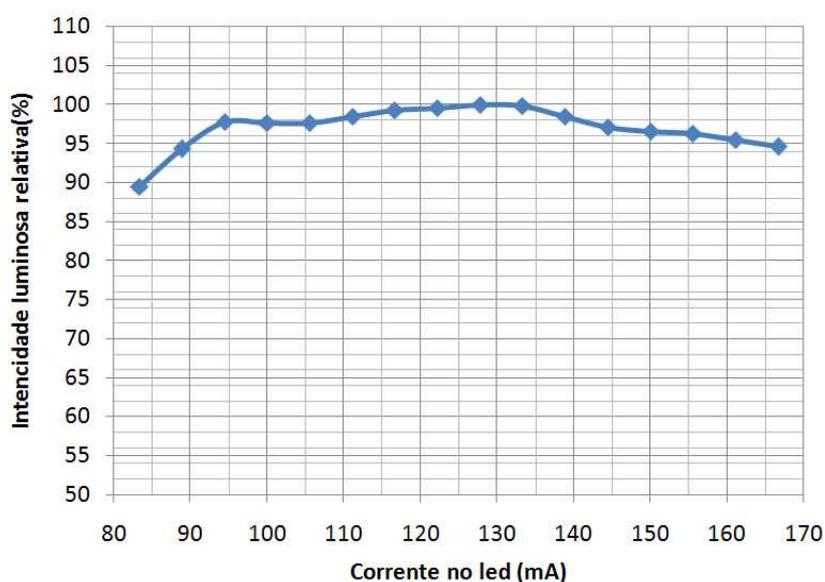


Figura. 5.1 – Resposta do LED de 5 mm de diâmetro em função da corrente elétrica aplicada.

A Figura 5.2 mostra a intensidade de luz emitida pelo LED de 10 mm de diâmetro, em função da corrente elétrica aplicada no mesmo. O LED foi conectado a um circuito elétrico de duas resistências (3.1.3) e a intensidade de luz foi medida com o fotospectrômetro Ocean Optics [25].

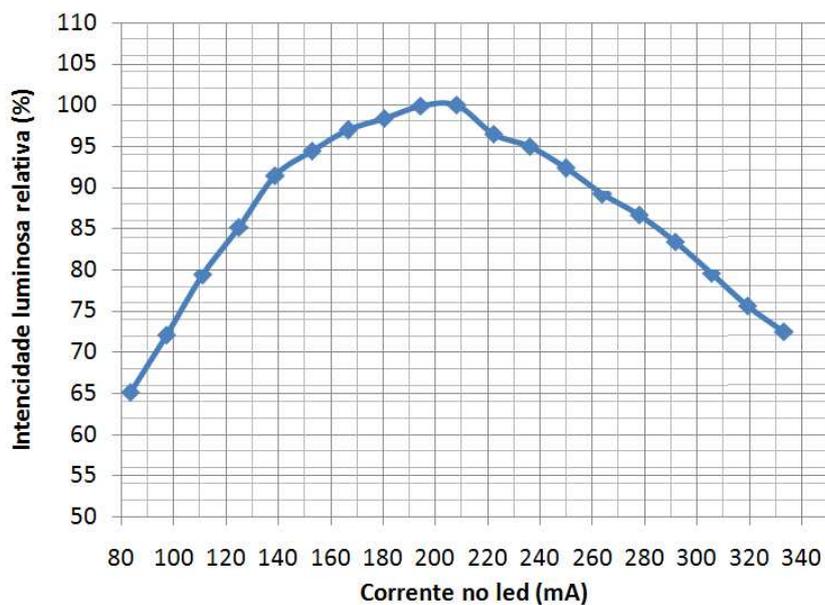


Figura. 5.2 – Resposta do LED de 10 mm de diâmetro em função da corrente aplicada.

A Figura 5.3 mostra os espectros de emissão de luz do LED de 5 mm (linha azul) e do de 10 mm de diâmetro (linha vermelha) em um alcance de comprimento de onda entre 700 nm e 1000 nm. Em ambos os casos os LEDs foram submetidos a uma corrente elétrica de 140 mA.

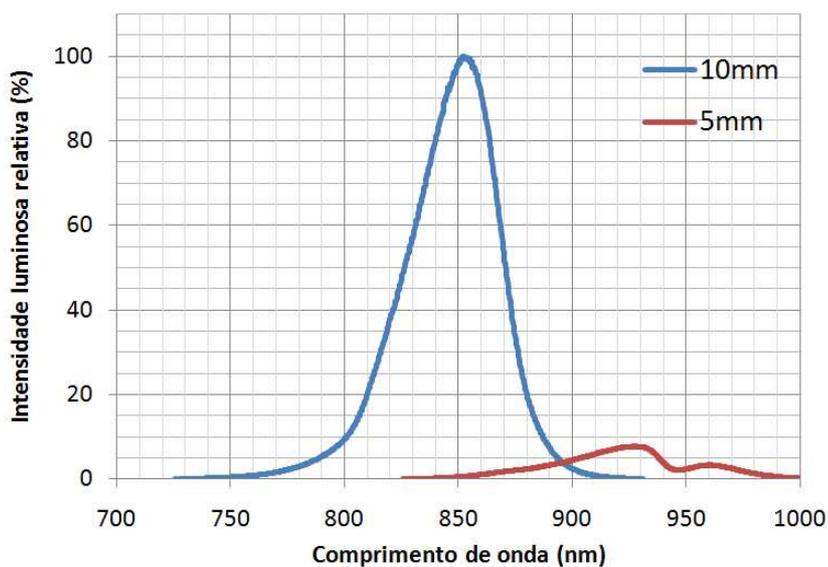


Figura 5.3 – Espectros de emissão de luz dos LEDs de 5 mm e 10 mm diâmetro.

A Figura 5.4 mostra as diferenças entre as imagens capturadas pela filmadora usando os LEDs de 5 e 10 mm de diâmetro. A Figura 5.4A foi obtida com os LEDs de 5 mm e a Figura 5.4B com os LEDs de 10 mm diâmetro.

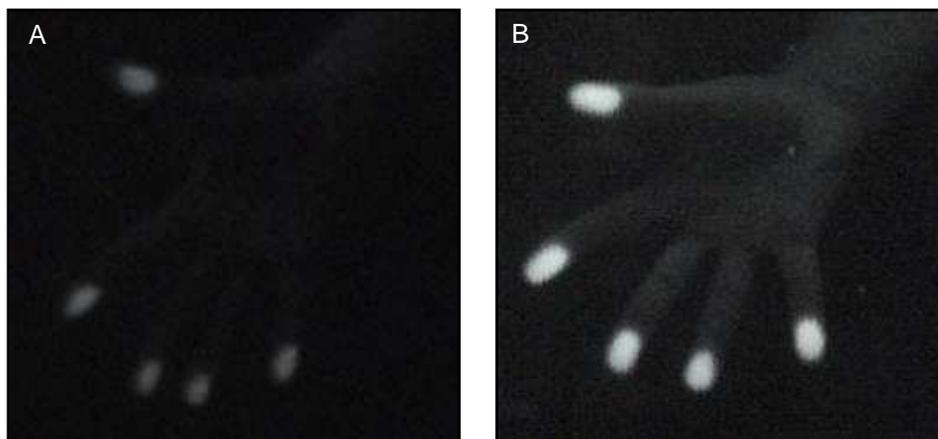


Figura 5.4 – Imagens capturadas pela câmera Sony DCR-H21. Usando LEDs de 5 mm de diâmetro (A) e de 10 mm de diâmetro (B).

## 5.2 Sistema de projeção

A Figura 5.5 mostra o efeito do uso do espelho na qualidade da imagem projetada. A localização do espelho é mostrada na Figura 5.5A (a parte inferior da mesa de calibração). A projeção da imagem, em forma de grade na tela, é mostrada na Figura 5.5B. A luz difusa refletida pelo espelho utilizado causa sobras em torno das linhas da grade.

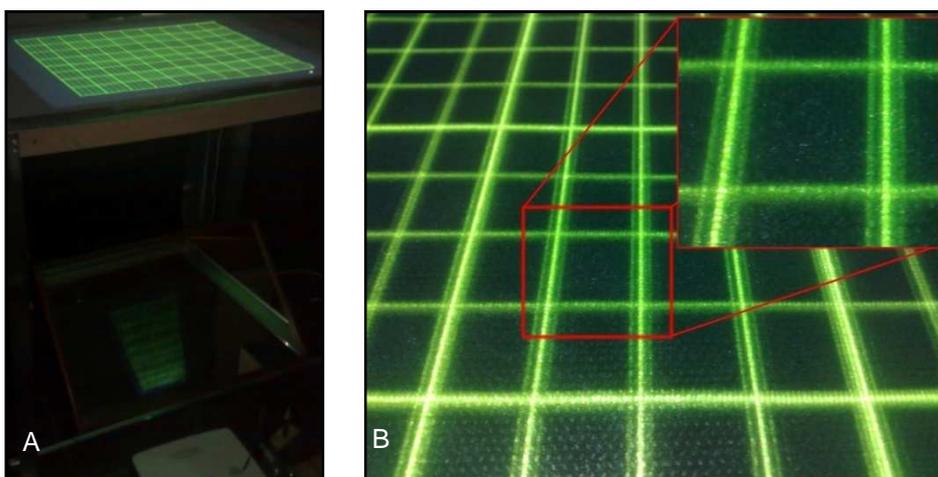


Figura 5.5 – Efeito da luz difusa refletida pelo espelho na projeção da imagem. Imagem formada no espelho (A). Detalhe do desfoque gerado na tela (B).

### 5.3 Calibração da câmera

A Figura 5.6 mostra a imagem da grade que é usada para demarcar os pontos de calibração da filmadora, como vista pelo usuário durante o processo de calibração. A área da grade projetada mede 74 cm de comprimento por 57 cm de largura. A pequena área vermelha no canto inferior esquerdo da imagem indica o ponto que está sendo calibrado.

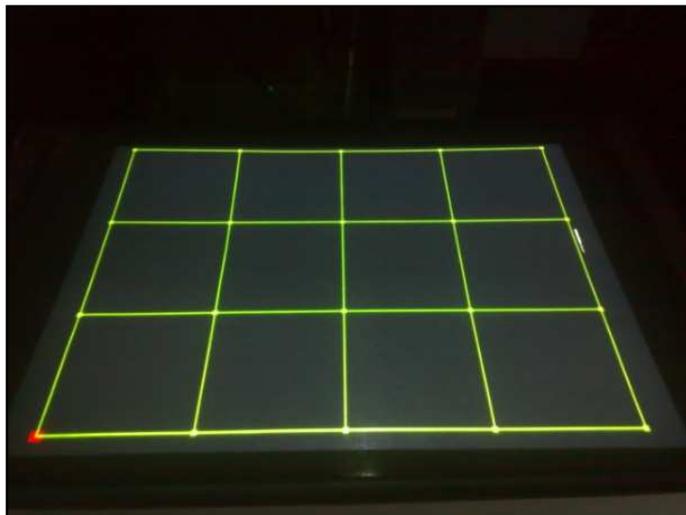


Figura 5.6 – Grade de calibração do sistema *multitouch*.

A Tabela 5.1 mostra os resultados da calibração da filmadora utilizando-se os quatro pontos extremos da grade mostrada na Figura 5.6.

As coordenadas X e Y dos pontos da grade de calibração são mostradas na primeira e na segunda colunas da tabela, respectivamente. As coordenadas X' e Y' da grade de calibração determinadas na homografia aparecem na terceira e na quarta colunas da tabela, respectivamente. A distância entre as coordenadas (X,Y) e (X', Y') de cada ponto da grade é mostrada na quinta coluna da tabela. A distância em centímetros é mostrada na sexta coluna. A distância média entre as coordenadas transformadas pela homografia e onde o usuário pressionou a tela foi de 2,7 cm.

Tabela 5.1. Dados de uma homografia feita com os quatro pontos externos da grade.

Coordenadas da filmadora (pixel)		Coordenadas da homografia (pixel)		Distância entre as coordenadas X', Y' e X,Y (pixel)	Distância entre as coordenadas X',Y' e X,Y (cm)
X	Y	X'	Y'		
8	8	6,86	6,92	1,57	0,17
8	162	-50,74	165	58,81	6,70
8	317	3,9	317,09	4,10	0,46
8	472	6,91	470,99	1,48	0,16
184	8	146,12	-1,63	39,08	4,45
184	162	145,67	165,62	38,50	4,38
184	317	145,23	327,07	40,05	4,56
184	472	144,81	483,02	40,70	4,64
360	8	350,45	-2,84	14,44	1,64
360	162	346,35	166,26	14,29	1,62
360	317	342,39	329,42	21,54	2,45
360	472	338,57	486,97	26,14	2,97
536	8	559,38	-4,08	26,31	2,99
536	162	551,46	166,9	16,21	1,84
536	317	543,82	331,82	16,75	1,90
536	472	536,45	491	19,00	2,16
712	8	710,85	6,87	1,612	0,18
712	162	761,14	167,56	49,45	5,63
712	317	749,66	334,28	41,43	4,72
712	472	710,91	470,95	1,513	0,17

A Tabela 5.2 mostra os resultados dos cálculos da homografia quando a calibração foi feita com 20 pontos da grade mostrada na Figura 5.6. A legenda das colunas dessa tabela tem o mesmo significado que a das colunas da Tabela 5.1 e, para esse número de pontos, a distância média entre as coordenadas transformadas pela homografia foi de 2,4 mm.

Tabela 5.2. Dados de uma homografia feita com 20 pontos da grade.

Coordenadas da filmadora (pixel)		Coordenadas da homografia (pixel)		Distância entre as coordenadas X', Y' e X,Y (pixel)	Distância entre as coordenadas X',Y' e X,Y (cm)
X	Y	X'	Y'		
8	8	9,22	7,46	1,33	0,15
8	162	7,11	160,59	1,66	0,19
8	317	6,9	315,38	1,95	0,22
8	472	8,16	469,89	2,11	0,24
184	8	180,69	5,96	3,88	0,44
184	162	181,45	160,82	2,80	0,32
184	317	181	317,51	3,04	0,34
184	472	181,72	471,49	2,33	0,26
360	8	358,57	4,94	3,37	0,38
360	162	357,93	160,07	2,83	0,32
360	317	359,2	317,16	0,81	0,09
360	472	358,08	470,7	2,31	0,26
536	8	534,93	7,29	1,28	0,14
536	162	537,46	160,81	1,88	0,21
536	317	536,54	316,96	0,54	0,06
536	472	534,55	470	2,47	0,28
712	8	709,1	8,02	2,90	0,33
712	162	711,31	161,12	1,11	0,12
712	317	711,11	317,67	1,11	0,12
712	472	710,46	468,89	3,47	0,39

A Figura 5.7 mostra as coordenadas dos pontos das regiões vistas pela filmadora (regiões brancas), as coordenadas das regiões brancas transformadas pela homografia (anéis verdes) e a posição dos dedos sobre a tela. Na Figura 5.7A, os anéis estão defasados em relação aos dedos. Na Figura 5.7B os anéis verdes se alinham com os dedos, resultado de uma melhor calibração da homografia.

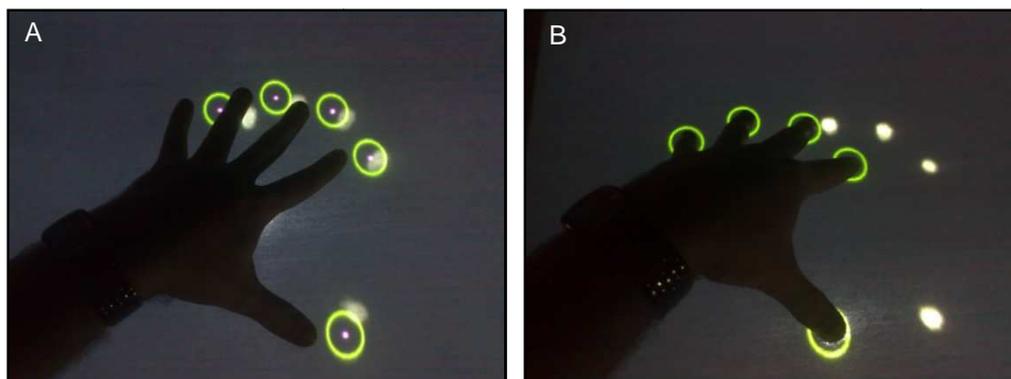


Figura 5.7 – Calibração da homografia feita com 4 pontos (A) e 20 pontos (B).

## 5.4 Algoritmo de rastreamento dos toques

### 5.4.1 Eliminação da luz de fundo

A Figura 5.8 mostra o efeito da luminosidade de fundo na qualidade da imagem. O resultado da imagem quando a luminosidade de fundo é eliminada da imagem A é mostrado na imagem B.

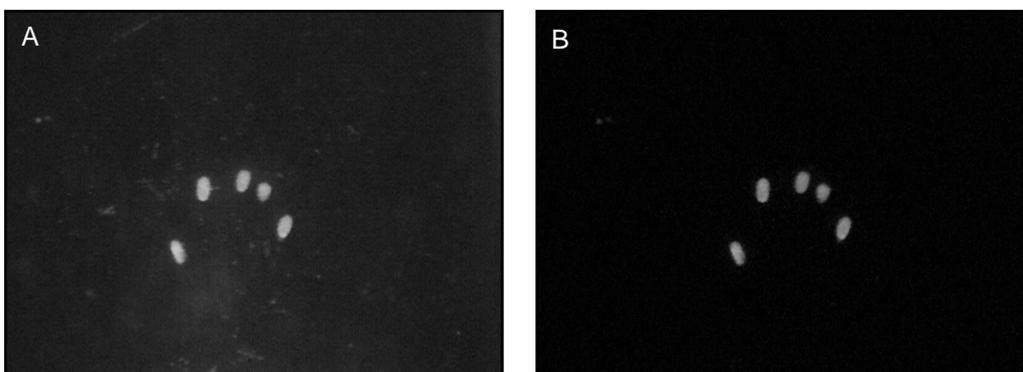


Figura 5.8 – Efeito da eliminação da luz de fundo. Imagem capturada pela filmadora (A). Imagem obtida após a eliminação da luz de fundo (B).

### 5.4.2 Busca de regiões conexas

A Figura 5.9 mostra uma imagem em tons de cinza que foi binarizada. Os ruídos de alta frequência que surgem principalmente próximos aos dedos são

mostrados pela ampliação que aparece dentro da moldura vermelha. Na ampliação pode ser vista a seqüência de pixels que liga as duas regiões pertinentes a cada dedo.

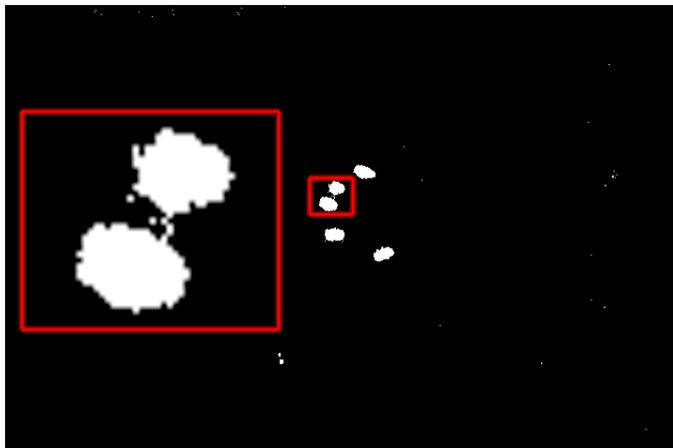


Figura 5.9 – Imagem binária de uma mão apoiada sobre a tela de acrílico.

A Figura 5.10 mostra o resultado do filtro da mediana aplicado à imagem da Figura 5.9. Na ampliação pode ser visto que a seqüência de pixels que liga as duas regiões relativas aos dedos médio e anular, mostrada na Figura 5.9, foi completamente eliminada, além do ruído de alta freqüência presente naquela imagem.

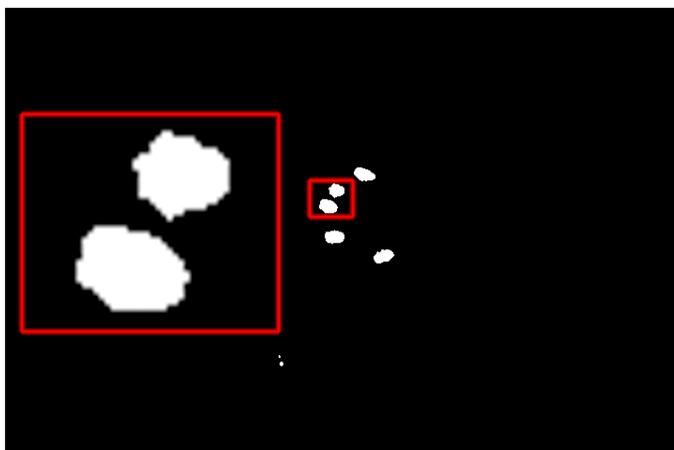


Figura 5.10 – Imagem binária após aplicação do filtro da mediana.

### 5.4.2.1 Identificação de regiões conexas

A Figura 5.11 mostra uma imagem binarizada. Os pontos vermelhos no centro das sete regiões brancas indicam as coordenadas de cada região encontrada pela sub-rotina “Busca de Regiões Conexas” (Anexo A).

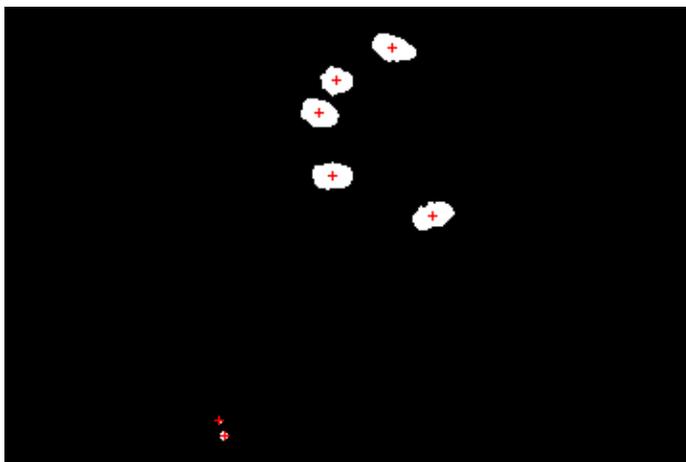


Figura 5.11 – Coordenadas centrais das regiões encontradas na imagem binária, pintadas em vermelho.

A Tabela 5.3 exemplifica o processo de busca por regiões conexas feitas pela rotina “Busca de Regiões Conexas” (Anexo A). A primeira coluna representa o identificador único dado a cada região. A segunda coluna fornece o número total de pixels encontrados na região. A terceira e a quarta colunas mostram as coordenadas médias de cada região na imagem binária.

Tabela 5.3. Dados da busca por regiões em uma imagem binária.

ID Região	Número de pixels	Coordenadas na imagem	
		X	Y
180	16	293.5	98
181	5	291.4	105.8
182	232	402.07	213.19
183	241	349.88	233.86
184	229	343.16	266.72
185	184	352.08	283.66
186	243	381.46	300.80

A Figura 5.12A mostra o aspecto borrado de uma imagem cinética não binarizada. O aspecto da mesma imagem após a binarização é mostrado na Figura 5.12B. Nesta imagem o efeito do entrelaçamento da imagem capturada pela filmadora é destacado, resultando nas linhas horizontais.

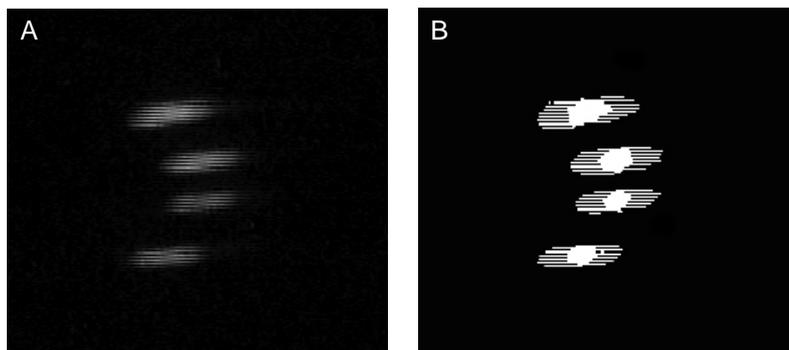


Figura 5.12 – Aspecto borrado da imagem capturada durante o movimento do dedo sobre a tela. Imagem não binarizada (A). Imagem binarizada (B).

## 5.5 Tracking de regiões

A Figura 5.13 mostra as coordenadas do rastro de um dedo que deslizou sobre a tela em forma de espiral. As coordenadas de cada ponto representadas pela cor azul foram calculadas pela sub-rotina “Busca de Regiões Conexas” (Anexo A).

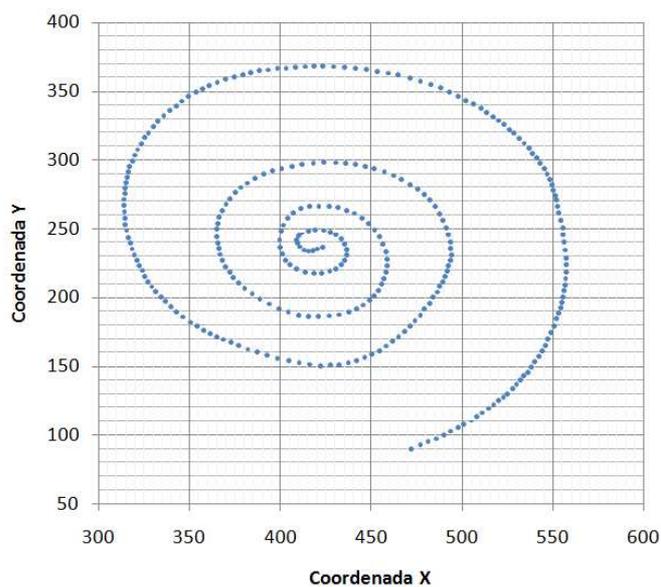


Figura 5.13 – Rastro do movimento de um dedo sobre a tela.

Uma representação gráfica do movimento de um dedo sobre a tela do sistema *multitouch* é mostrada na Figura 5.14. As coordenadas de todos os pontos, relativas ao movimento do dedo, são dadas pela curva feita com a linha azul, que representa a distância, medida em pixels, entre as coordenadas de duas imagens seqüenciais capturadas pela câmera.

A curva em vermelho mostra a distância, em pixels, entre as coordenadas encontradas em uma imagem e a extrapolação feita a partir dos dados das coordenadas das últimas duas imagens (ver Figura 4.8).

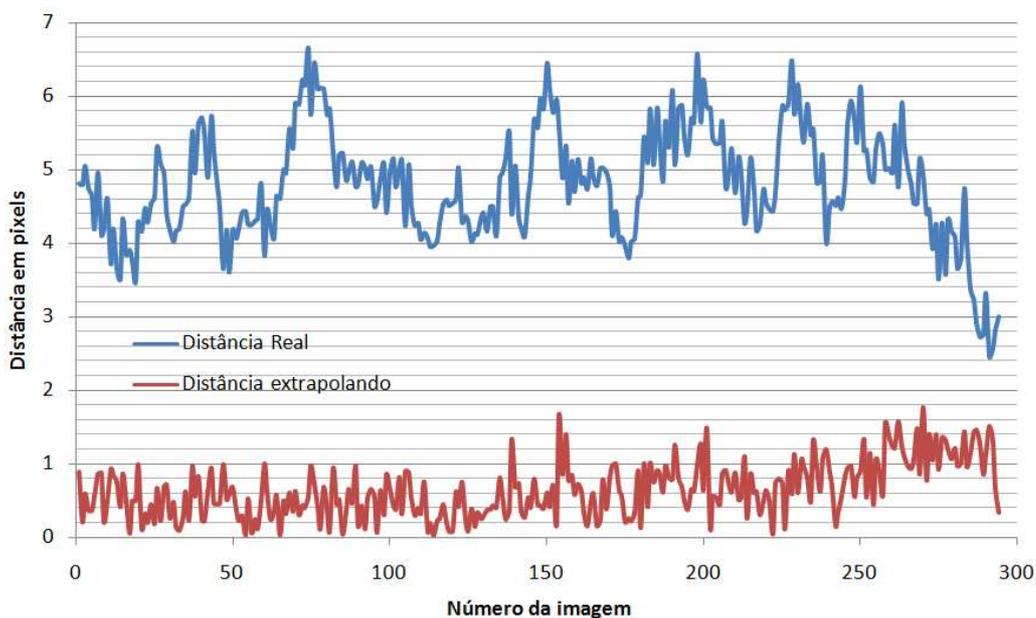


Figura 5.14 – Distância entre as coordenadas de uma região durante o movimento do dedo sobre a tela.

## 5.6 Tela do sistema *multitouch*

### 5.6.1 Revestimento da placa de acrílico com parafina gel

A Figura 5.15 mostra o processo utilizado para revestir a placa de acrílico com a parafina gel. Na parte inferior da figura pode ser observado o detalhe de regiões sem cobertura da parafina momentos após a aplicação do gel sobre o acrílico. Na parte superior da figura, na superfície do gel, pode ser observada uma das lâmpadas de 250 W e os reflexos de duas outras utilizadas para liquefazer a parafina gel.



Figura 5.15 – Aplicação da parafina gel sobre a placa de acrílico.

A Figura 5.16 mostra o resultado final do revestimento da placa de acrílico com a parafina gel. A parafina gel e a placa de acrílico estão à temperatura ambiente. Minúsculas bolhas de ar foram eliminadas direcionando-se o jato de ar quente produzido por um soprador de ar quente de 1800 W diretamente sobre a parafina. Os vincos que aparecem na foto são os de uma folha de plástico utilizada para proteger a placa de acrílico durante o processo de revestimento da mesma com a parafina gel.

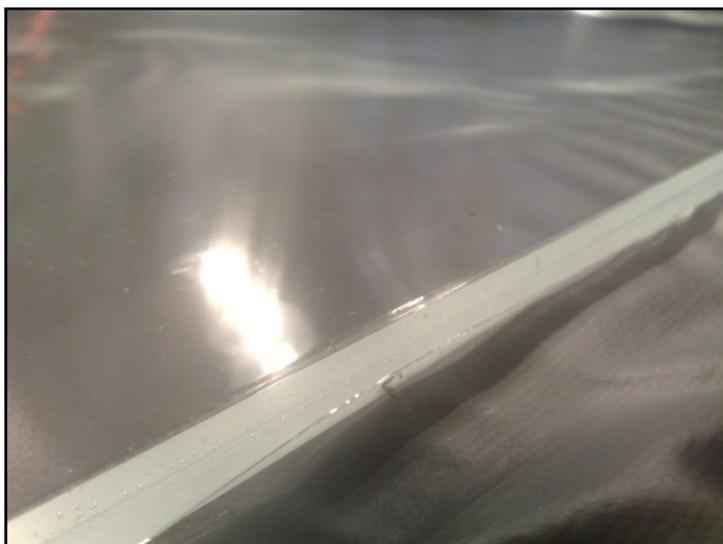


Figura 5.16 – Aspecto final da camada de parafina gel sobre a placa de acrílico.

### 5.6.2 Acoplamento dos LEDs

A Figura 5.17A mostra o perfil de alumínio com os LEDs de 5 mm incrustados para formar a fonte luz utilizada nas medidas feitas neste trabalho. A Figura 5.17B mostra esse sistema de fonte de luz acoplado à placa de acrílico.

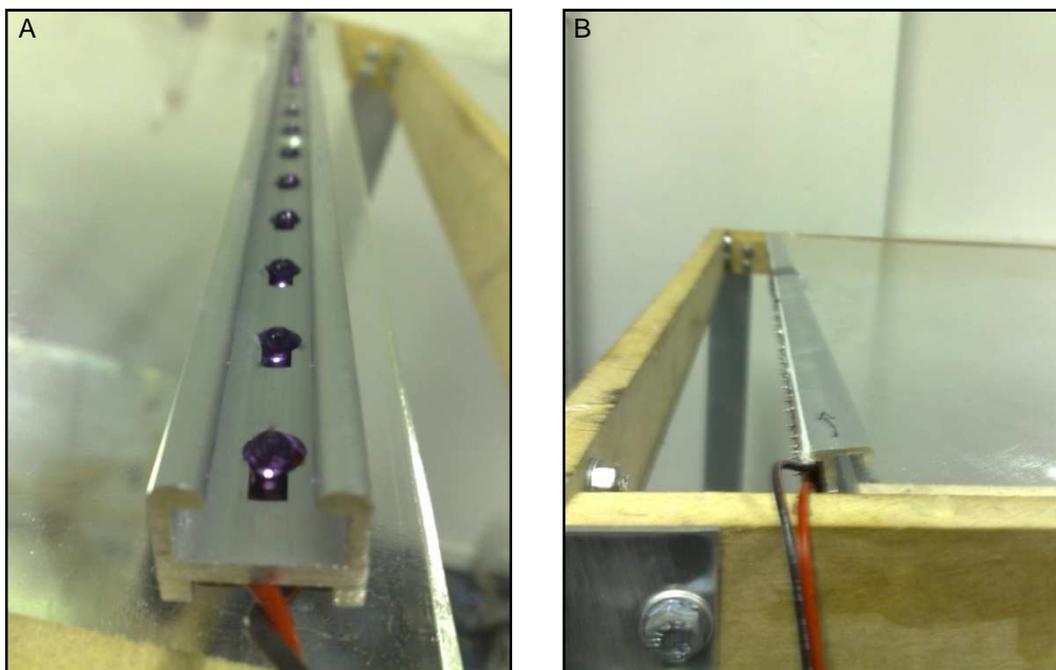


Figura 5.17 – Fonte linear de luz conectada à placa de acrílico. Montagem dos LEDs de 5 mm no perfil de alumínio (A). Fonte luminosa conectada à placa de acrílico (B).

### 5.6.3 Homogeneidade da luz sobre a superfície do acrílico

A Figura 5.18 mostra a relação entre a tabela de cores (aplicada nas Figuras 5.19 e 5.20) e os correspondentes valores numéricos que foram definidos entre 0 e 255, relativos à intensidade da luz capturada pela filmadora, utilizando 1 byte por pixel.

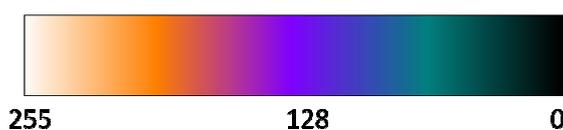


Figura 5.18 – Correspondência entre a tabela de cores e os valores numéricos.

A Figura 5.19 mostra imagens obtidas com 28 LEDs de 5 mm de diâmetro fixados a uma das laterais de 70 cm do acrílico. Na Figura 5.19A, os LEDs foram

inclinados em um ângulo igual a 30 graus em relação à face lateral da placa de acrílico. Na Figura 5.19B, os LEDs estão perpendiculares à face lateral do acrílico.

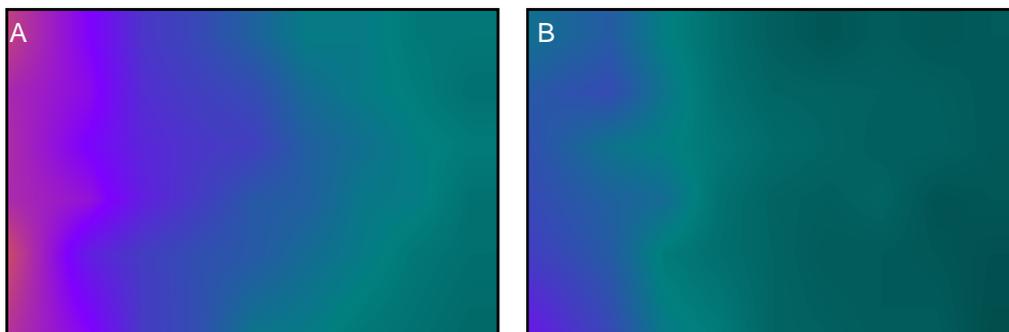


Figura 5.19 – Efeito do alinhamento dos LEDs de 5 mm de diâmetro na homogeneidade da luz. Inclinados a 30 graus (A). Inclinados a 90 graus (B).

A Figura 5.20 mostra a uniformidade da intensidade da luz na tela do sistema *multitouch*, obtida com 20 LEDs de 10 mm de diâmetro fixados a uma das laterais de 70 cm do acrílico. Nas Figuras A e B, os LEDs foram posicionados perpendiculares ao acrílico. Nas Figuras C e D, os LEDs foram inclinados em um ângulo igual a 30 graus em relação à face lateral da placa de acrílico. Uma fita refletora foi fixada na lateral oposta à placa de acrílico onde se situam os LEDs para produzir as imagens B e D.

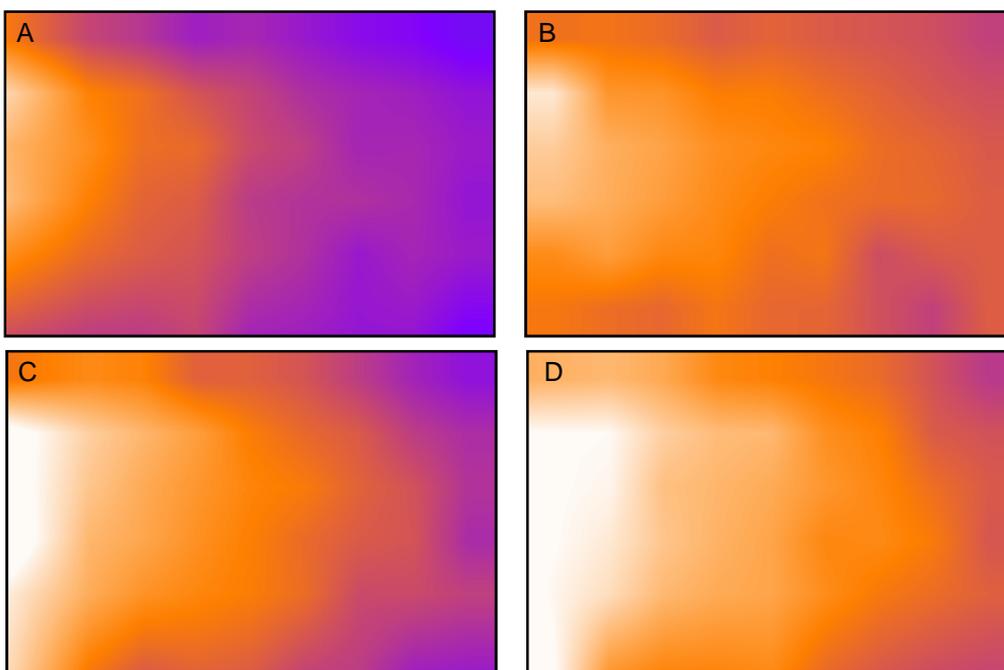


Figura 5.20 – Uniformidade da intensidade da luz na tela do sistema *multitouch*. Os 20 LEDs foram posicionados perpendiculares ao acrílico (A e B). Os LEDs foram posicionados inclinados em um ângulo igual a 30 graus em relação à face lateral da placa de acrílico (C e D).

#### 5.6.4

#### Efeito da luminosidade de fundo na qualidade da imagem

A Figura 5.21 apresenta uma comparação entre imagens obtidas com a filmadora Sony DCR-H21 com três diferentes espessuras de filtros (filme fotográfico descrito em 3.6), posicionando na frente da lente da filmadora.

As fotos foram feitas em uma sala (sem influência da luz do sol) iluminada por quatro lâmpadas fluorescentes de 1200 lumens. Os cinco dedos de uma mão foram pressionados contra a superfície da tela. A mancha branca em forma de círculos gerados pelo reflexo da lente do projetor, que aparece na parte superior esquerda das Figuras 5.21 A e B, desaparece completamente quando a luz que atinge a lente da câmara é filtrada por três camadas sobrepostas do filtro de infravermelho, como visto na Figura 5.21C.

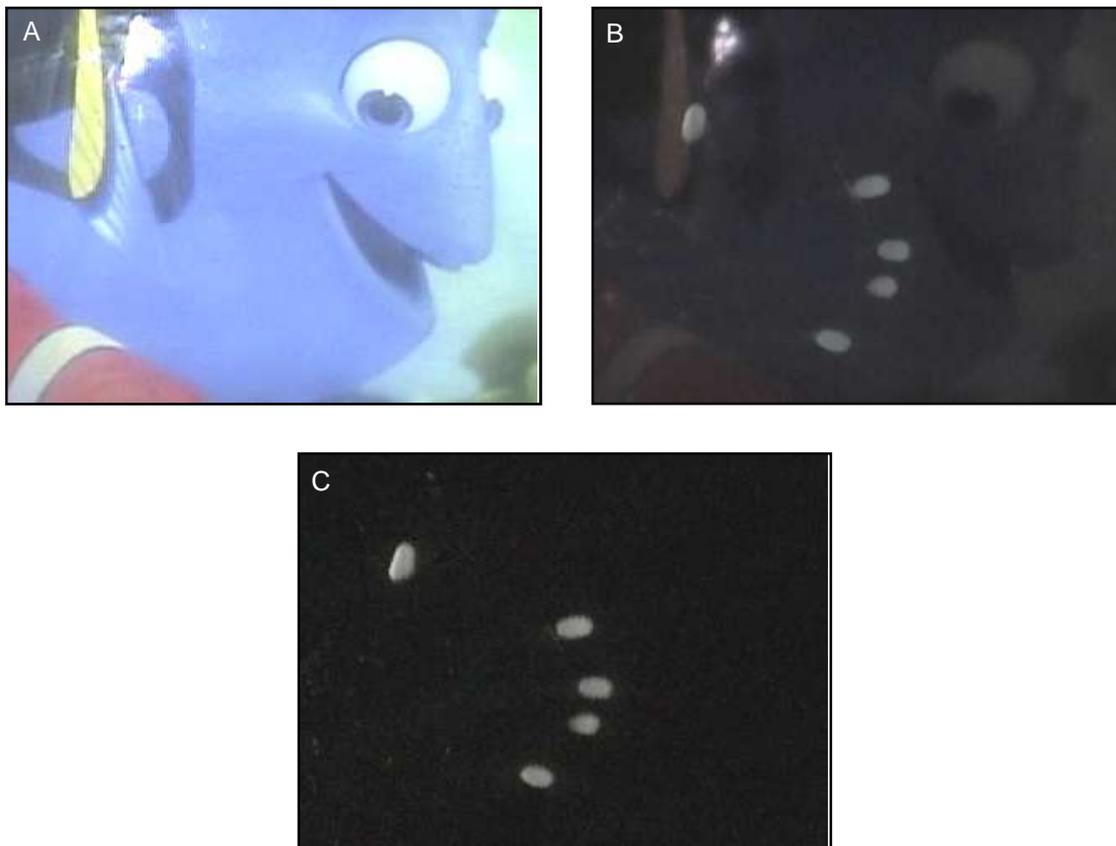


Figura 5.21 – Ação do filtro de infravermelho em imagens obtidas com a filmadora Sony DCR-H21. Sem filtro (A). Um Filtro (B). Três filtros (C).