

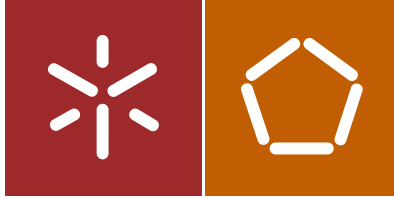


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Ricardo Jorge Martins de Amorim

Tapete Capacitivo para Detecção de  
Movimento e Posição de Animais  
na Experimentação Biomédica





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Ricardo Jorge Martins de Amorim

Tapete Capacitivo para Detecção de  
Movimento e Posição de Animais  
na Experimentação Biomédica

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de  
Mestre em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor Vítor Manuel Gomes Correia  
Professor Doutor Senentxu Lanceros-Méndez

## AGRADECIMENTOS

Esta é a parte em que posso mostrar a minha gratidão para com todas as pessoas que me ajudaram neste trabalho e com todos aqueles que me acompanharam ao longo de todo o meu percurso académico.

Queria agradecer ao professor Senentxu Lanceros-Méndez e ao Doutor Vítor Correia por me terem orientado no trabalho e pela total disponibilidade sempre demonstrada para me ajudarem. Um agradecimento muito especial ao Nelson Castro pela disponibilidade e auxílio prestado ao longo de todo o ano.

Um muito obrigado ao CeNTI pela hospitalidade e pelas condições fantásticas proporcionadas no processo de impressão das matrizes.

Não posso também deixar de agradecer ao Carlos Matos que foi o meu companheiro de guerra durante toda esta jornada.

Não menos importante que todo o imenso apoio profissional que recebi, tenho de fazer um profundo agradecimento a todas as pessoas da minha vida pessoal que de uma forma ou de outra foram importantíssimas na conclusão desta etapa.

Um enorme agradecimento aos meus pais Ana e Joaquim que me deram todos os apoios possíveis e me proporcionaram a possibilidade de escrever este documento. Um beijinho para minha irmã que, sendo engenheira eletrónica me ajudou muito durante todo o curso.

Deixo também aqui um agradecimento ao “Monte”, “Sangra” e “Corridas” pelo apoio e pelos momentos vividos durante estes anos. Grande abraço companheiros

Por último, e não menos importante, tenho de agradecer à Afonsina, Tuna de Engenharia da Universidade do Minho, por me ter acolhido e me ter proporcionado os melhores momentos da minha vida académica.

A todos, o meu muito Obrigado.



## RESUMO

A utilização de animais em atividades de experimentação biomédica, como o estudo do comportamento de espécies e a descoberta de curas para diferentes doenças, é uma prática que remonta ao início do século XX e que até aos dias de hoje se mantém atual. Dada a constante evolução da tecnologia, nomeadamente na área da eletrónica, estudos que envolvam a utilização de animais de experimentação recorrem à utilização de vários tipos sensores de forma a monitorizar os parâmetros pretendidos. Dentro dos diferentes tipos de sensores que vão surgindo fruto da investigação na área da sensorização, podem destacar-se sensores os baseados em tecnologia de impressão dado seu fácil desenvolvimento e fabrico bem como o baixo custo de produção.

Este trabalho de dissertação insere-se na área da sensorização e consiste no desenvolvimento de um tapete biomédico capacitivo, através de tecnologias de impressão, com a finalidade de detetar posição e movimento de animais de experimentação. Assim, o sistema conta com uma superfície multitoque sensível a pequenas variações de peso e variações rápidas de estado. A área das superfícies *touch* abrange uma variedade de alternativas no que concerne aos sensores utilizados tais como resistivos, infravermelhos, capacitivos, piezoelétricos, etc. Dependendo da aplicação em questão uns apresentam vantagens em relação aos outros. Mas, ainda assim, pode dizer-se que a utilização de sensores capacitivos é a abordagem mais atual dado que permite reconhecer vários toques em simultâneo e possui excelentes características óticas. O tapete capacitivo foi desenvolvido a partir de malhas metálicas em que os sensores são impressos em tinta de prata dada a sua excelente condutividade elétrica. A deposição das tintas foi feita por *screen printing* visto ser um método rápido e eficaz e por ser um procedimento já conhecido pelo grupo de trabalho onde se insere este trabalho de dissertação.

Na sequência da conceção da matriz capacitiva, foi também desenvolvida a eletrónica necessária para a leitura da mesma assim como o sistema de aquisição de processamento de dados com a integração de um microcontrolador. Por fim, foi desenvolvido em *software* uma interface gráfica,

No fim deste trabalho ficou desenvolvido um sistema capaz de detetar toques numa superfície bem como a representação em tempo real e em modo *offline* no computador.

**Palavras-Chave:** Tecnologias de impressão, *screen printing*, superfície multitoque, matriz capacitiva



## ABSTRACT

The use of animals for biomedical experience activities, such as study of species behavior and medical research, is a practice that dates back to the early 20<sup>th</sup> century until the present day. Given the constant evolution of technology, particularly in electronics area, researches involving experimental animals use several kinds of sensors in order to monitor the required parameters. From the sensor technology research, printed sensors are emerging given their simple development and manufacture as well as their low cost of production.

This dissertation project is included in the sensing area and consists in developing a capacitive biomedical pad in order to detect position and movement of experimental animals. Thus, the developed system has a multi-touch surface sensitive to small weight variations and fast state variations. The touch surfaces areas covers a variety of alternatives regarding the kind of the used sensor such as resistive, infrared, capacitive, piezoelectric, etc. The best solution depends on the target application. However, capacitive sensors are the current approach as they allow to recognize several touches simultaneously and has excellent optical characteristics. The capacitive pad was developed from metallic meshes in which the sensors are printed in silver ink due to its excellent electrical conductivity. The deposition of the ink was made by screen printing as it is a quick and effective method and it is a procedure well known by the working group the dissertation is included.

Following the design of the capacitive pad (matrix) it was also developed the electronic system required to read and interpret its signals, an data acquisition system integrating a microcontroller.

In the end, it was accomplished the development of a system able to detect touch in the capacitive pad and to show the results in the computer in real time or in offline mode.

**Keywords:** Print Technologies, *Screen printing*, Multi Touchpad, Capacitive Matrix





# ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Lista de Figuras .....	xi
Lista de Tabelas.....	xv
1. Introdução .....	1
1.1 Motivação .....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Organização e Estrutura do documento.....	3
2. Estado da Arte.....	5
2.1 Sensores .....	5
2.1.1 Sensores resistivos.....	5
2.1.2 Sensores acústicos SAW .....	7
2.1.3 Sensores Infravermelhos .....	8
2.1.4 Sensores capacitivos.....	9
2.2 Técnicas de Impressão.....	14
2.2.1 Inkjet Printing.....	14
2.2.2 Screen Printing .....	17
3. Desenvolvimento do sistema .....	19
3.1 Overview .....	19
3.2 Matriz Capacitiva .....	19
3.2.1 Design 18x13.....	20
3.2.2 Design 27x19.....	23
3.3 Sistema de Leitura .....	24
3.3.1 MTCH6301 e MTCH6303 .....	24
3.3.2 Circuito de leitura.....	25
3.3.3 Conectores.....	26
3.3.4 PCB .....	26
3.4 Aquisição e processamento .....	27

3.5	Interface Gráfica .....	30
4.	Implementação .....	33
4.1	Matriz.....	33
4.1.1	Screen Printing .....	33
4.1.2	Encapsulamento .....	38
4.1.3	Conectores.....	38
4.2	PCB do circuito de leitura .....	39
4.3	Microcontrolador .....	39
4.3.1	Configuração do MTCH6301.....	40
4.3.2	Leitura do toque .....	42
4.3.3	Conversão da trama.....	43
4.4	Aplicação gráfica.....	44
4.4.1	Monitorização em tempo real.....	46
4.4.2	Modo offline.....	48
5.	Testes e Resultados .....	49
5.1	Caraterização das matrizes .....	49
5.2	Teste do Sistema.....	49
6.	Conclusões .....	56
7.	Trabalho Futuro .....	57
	Bibliografia.....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor de toque resistivo .....	5
Figura 2 - Representação da tradução das coordenadas numa topologia 4-Wire .....	6
Figura 3 – Representação da metodologia para leitura de coordenadas na topologia 5-Wire ..	6
Figura 4 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor de toque SAW.....	7
Figura 5- Representação do processo de toque num touchscreen IR .....	8
Figura 6 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor IR High Finger Count .....	9
Figura 7 - Representação da estrutura genérica de um sensor Surface Capacitive .....	10
Figura 8 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor de topologia Self Capacitance .....	11
Figura 9 – Representação do fenômeno de pontos fantasma na topologia Self-Capacitance .	12
Figura 10 – Representação esquemática do princípio de funcionamento de um sensor Mutual Capacitance .....	12
Figura 11- Representação das camadas constituintes de um sensor Mutual Capacitance .....	13
Figura 12- Representação da leitura de 2 toques num sensor Mutual Capacitance .....	14
Figura 13 – Representação esquemática do funcionamento do processo de Inkjet Printing: a) Impressão contínua; b) Drop-on-Demand.....	15
Figura 14 – Representação esquemática do processo de impressão Drop-on-Demand: a) thermal inkjet printing; b) piezo inkjet printing;.....	16
Figura 15 -Representação esquemática do funcionamento do processo de Screen Printing ...	17
Figura 16 - Diagrama de blocos do sistema .....	19
Figura 17 -Design da matriz 18x13 com losangos preenchidos desenvolvida em software CadSoft Eagle.....	20
Figura 18 - Design da matriz 18x13 com losangos semipreenchidos desenvolvida em software CadSoft Eagle.....	21
Figura 19 - Geometria com representação das dimensões do elétrodo preenchido .....	22
Figura 20 – Geometria com representação das dimensões do elétrodo semipreenchido .....	22
Figura 21 - Design da matriz 27x19 com losangos semipreenchidos desenvolvida em software CadSoft Eagle.....	23
Figura 22 - Circuito de aplicação do MTCH6301 sugerido pelo fabricante .....	25
Figura 23 - Exemplo de um conector do tipo FFC/FPC .....	26

Figura 24 - Esquemático do circuito de leitura desenvolvido em software CadSoft Eagle .....	26
Figura 25 - Layout da PCB do circuito de leitura desenvolvido em software CadSoft Eagle	27
Figura 26 - Microcontrolador utilizado para o sistema de Aquisição .....	28
Figura 27- Diagrama representativo das comunicações do microcontrolador com o circuito de leitura e com o computador .....	28
Figura 28 – Algoritmo de lato nível da rotina do microcontrolador .....	29
Figura 29 – Algoritmo de alto nível da rotina da interface gráfica .....	30
Figura 30 - Tinta de prata utilizada na impressão .....	34
Figura 31 - Quadro utilizado para impressão da matriz de elétrodos semipreenchidos.....	34
Figura 32 - Quadro inserido na máquina de impressão.....	35
Figura 33 - Etapa de impressão que antecede a colocação da tinta.....	35
Figura 34 - Colocação da tinta na tela de impressão .....	36
Figura 35 - Fim do ciclo de impressão .....	36
Figura 36 - Matrizes impressas na primeira face .....	37
Figura 37 – Processo de cura das matrizes.....	37
Figura 38 - Matriz final com encapsulamento .....	38
Figura 39 - Ligações da matriz ao conector com aplicação de placas de reforço.....	39
Figura 40 - PCB desenvolvida do circuito de leitura .....	39
Figura 41 - Configuração do numero de RX e TX ativas .....	40
Figura 42 - Associação de um pino ao registo TX1 .....	40
Figura 43 - Configuração da orientação do sensor.....	41
Figura 44 - Configuração do modo de operação do MTCH6301 .....	41
Figura 45 - Configuração para a deteção de 4 toques em simultâneo.....	41
Figura 46 - Exemplo da trama do toque enviada pelo controlador .....	42
Figura 47 - Configuração da interrupção externa do microcontrolador.....	42
Figura 48 - Função de leitura do toque através da comunicação I2C .....	43
Figura 49 - Função de conversão da trama para envio para o computador.....	43
Figura 50 - Fluxograma das funcionalidades da aplicação gráfica .....	44
Figura 51 - Menu inicial da interface gráfica desenvolvida em QT Creator.....	45
Figura 52 - Menu de configuração da porta série.....	46
Figura 53 - Submenu no modo de monitorização em tempo real .....	46
Figura 54 – Função para escrita em ficheiro .....	47
Figura 55 - Exemplo de ficheiro criado no processo de monitorização.....	47
Figura 56 - Código de representação gráfica das coordenadas .....	47

Figura 57 - Excerto de código correspondente à reprodução através do ficheiro .....	48
Figura 58 - Gráfico representativo dos resultados das medições de resistência das pistas horizontais das duas matrizes .....	49
Figura 59 - Teste da matriz de elétrodos semipreenchidos com toque único fixo.....	50
Figura 60 - Resultado representado na interface gráfica do teste com a matriz preenchida com toque no centro da matriz .....	50
Figura 61 - Teste da matriz de elétrodos preenchidos.....	51
Figura 62 – Resultado representado na interface gráfica do teste com a matriz de elétrodos preenchidos.....	52
Figura 63 - Montagem do sistema total para teste utilizando placas de vidro .....	52
Figura 64 - Resultado representado na interface gráfica do teste da matriz entre placas de vidro .....	53
Figura 65 - Resultado representado na interface gráfica do teste de movimento .....	54



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Classificação qualitativa das 5 tecnologias relativamente da diferentes propriedades .....	18
Tabela 2 – Lista de controladores capacitivos relevantes para aplicação existentes no mercado .....	24





# 1. INTRODUÇÃO

O trabalho de dissertação descrito no presente documento apresenta o trabalho realizado com vista o desenvolvimento de uma superfície munida de sensores de toque capacitivos impressos recorrendo ao processo de *screen printing*, para a deteção de posição e movimento de animais na experimentação biomédica.

O projeto está integrado numa parceria entre o Departamento de Eletrónica Industrial e o Departamento de Física da Universidade do Minho, no âmbito da dissertação do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores.

Este trabalho é composto por diferentes etapas que vão desde o desenvolvimento do sensor à recolha de resultados do comportamento do sistema final.

A primeira etapa apresenta o desenvolvimento do sensor que começa pelo seu dimensionamento e desenho das matrizes atendendo aos requisitos do sistema e culmina com a impressão das mesmas com recurso ao processo de *screen printing*.

Numa segunda fase, após realizar os testes de validação dos parâmetros de qualidade da matriz, é escolhido o controlador adequado bem como dimensionado e desenvolvido o circuito de leitura do controlador impresso em *PCB*.

Na terceira etapa é apresentada a programação do microcontrolador, que faz a aquisição dos dados fornecidos pelo circuito de leitura do controlador.

A quarta etapa apresenta o desenvolvimento de uma interface gráfica que visa possibilitar a representação no computador dos dados adquiridos tempo real e em modo *off-line*. Por fim, são realizados testes funcionais a cada segmento individualmente bem como ao sistema total com a finalidade de retirar resultados práticos para serem analisados.

No fim, pretende-se que o resultado final do trabalho desenvolvido, possa ser aplicado à finalidade proposta inicialmente, isto é, possa ser integrado num sistema de deteção de posição e movimento de animais na experimentação biomédica.

## 1.1 Motivação

A motivação primordial para o desenvolvimento de um sistema de monitorização de animais com recurso a sensores capacitivos reside no interesse criar uma alternativa aos sistemas existentes no mercado para o mesmo efeito.

A realização deste trabalho permite também aplicar os conhecimentos sobre sensores adquiridos ao longo do Mestrado Integrado de Engenharia Eletrónica Industrial e de Computadores na área de especialização de Microtecnologias. Por outro lado, também é um desafio interessante sair um pouco da zona de conforto e entrar, ainda que superficialmente, no ramo da Engenharia de Materiais.

Outro aspeto referente às motivações pessoais para o desenvolvimento do sistema, prende-se no facto do sensor ser desenvolvido recorrendo a técnicas de impressão, uma vez que é uma metodologia que não é utilizada ao longo do curso.

Além da vantagem comum com outros produtos já existentes no mercado, de não requerer a presença do utilizador, o sistema de monitorização proposto apresenta custos de produção mais baixos e utiliza menos recursos comparando com a abordagem mais frequente que passa pela gravação em vídeo. Uma outra vantagem relevante prende-se no facto do sistema proposto não requerer a existência de luz para o processo de monitorização.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho de dissertação visa desenvolver uma superfície de toque a aplicar num sistema de deteção de posição e movimento de animais de experimentação, recorrendo a sensores capacitivos impressos. Portanto, os objetivos principais do projeto podem ser enumerados nos tópicos:

- Desenvolvimento de uma matriz de sensores capacitivos, recorrendo a tecnologias de impressão
- Desenvolvimento do *hardware* necessário para o circuito de leitura das matrizes impressas.
- Desenvolvimento do sistema de aquisição e processamento de dados.
- Desenvolvimento de uma interface que torne possível a visualização dos resultados em ambiente gráfico no computador.

### 1.3 Organização e Estrutura do documento

O presente documento está organizado em 6 capítulos que englobam todas as etapas do trabalho desenvolvido.

No capítulo 2 é apresentado o estado da arte, que visa esclarecer os conceitos teóricos mais pertinentes para a melhor compreensão do documento. É abordada a temática dos sensores utilizados no ramo de superfícies de toque bem como as técnicas de impressão mais utilizadas para o desenvolvimento dos sensores.

O capítulo 3 engloba todo o trabalho referente à idealização do sistema. Mais concretamente, são abordadas todas as decisões tomadas referentes ao *design* e dimensionamento das matrizes do sensor, tendo em conta os requisitos do sistema. A escolha da técnica de impressão utilizada e o desenvolvimento da *PCB* para o circuito de leitura também são abordados neste capítulo.

O capítulo 4 é apresentado todo *hardware* e *software* desenvolvido desde a impressão das matrizes capacitivas, a *PCB* do circuito de leitura, programação do microcontrolador para o sistema de aquisição de dados e o desenvolvimento da interface gráfica para a representação dos dados no computador.

O capítulo 5 apresenta os testes e resultados obtidos das diferentes componentes do trabalho que inclui o teste do comportamento das diferentes matrizes desenvolvidas e o sistema de aquisição e representação gráfica.

O capítulo 6 faz uma análise crítica final sobre os resultados obtidos, referindo algumas conclusões pertinentes bem como sugestões para trabalho futuro.



## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 Sensores

#### 2.1.1 Sensores resistivos

O princípio de funcionamento deste tipo de sensores baseia-se na alteração de resistência elétrica, que é medida indiretamente através de uma variação de tensão após aplicada uma tensão conhecida. A estrutura deste tipo de sensores apresenta um substrato de vidro e um filme flexível em que ambos são revestidos num dos lados por um condutor transparente *indium tin oxide*, ITO. As faces revestidas com condutor do substrato e do filme ficam separadas por pontos de espaçamento e isoladas eletricamente nas extremidades[1].

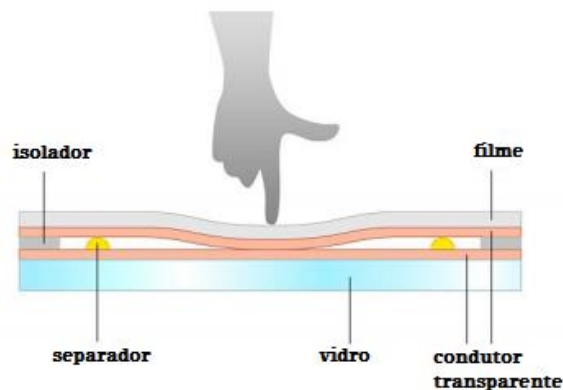
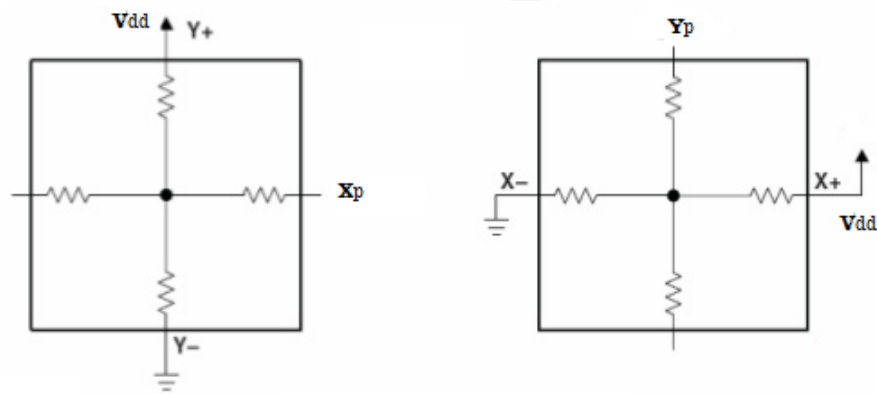


Figura 1 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor de toque resistivo[2]

Esta tecnologia apresenta diferentes topologias classificadas pelo número de ligações do sensor. Na *4-wire*, a posição do toque no dos *xx* é determinada aplicando uma tensão conhecida no topo e na base do substrato de vidro e medida a tensão existente entre as extremidades horizontais do filme. Para a coordenada em *yy* o processo é invertido e a tensão resultante é medida entre o topo e a base do substrato de vidro[3].



$$X_p = \frac{V_{Y+}}{V_{dd}} \times largura$$

$$Y_p = \frac{V_{X+}}{V_{dd}} \times comprimento$$

Figura 2 - Representação da tradução das coordenadas numa topologia 4-Wire [4]

No caso 5-wire, o eixo dos xx, é aplicada tensão às duas ligações do canto do lado direito do condutor do substrato e as duas ligações do lado esquerdo são ligadas à massa. A quinta ligação é feita ao filme condutor, que funciona como uma ponta de prova. Para determinar a posição vertical, o processo é idêntico sendo que para este caso é aplicada tensão nas ligações do topo e ligadas à massa as ligações da base[5].

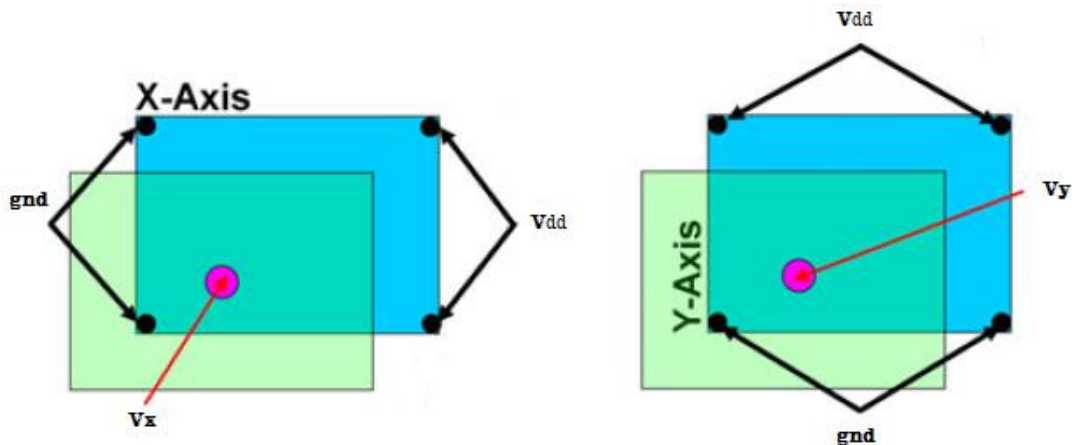


Figura 3 – Representação da metodologia para leitura de coordenadas na topologia 5-Wire [5]

Os sensores de toque resistivos apresentam algumas características vantajosas em relação a outros tipos de sensores como por exemplo o baixo consumo, o baixo custo de produção, ser resistente a contaminantes na sua superfície e poder ser acionado por qualquer tipo de objeto. No entanto, não permite a detecção de multitoque, apresenta uma baixa

durabilidade, torna-se caro quando aplicável a grandes superfícies, possui uma baixa qualidade ótica e requer alguma pressão ao toque para ser detetado.

Este tipo de sensores pode ser encontrado hoje em dia aplicado a dispositivos comerciais tais como ecrãs interativos automóveis, postos de informação, máquinas de *checkpoint* e ecrãs de lazer para os passageiros de aviões[6].

### 2.1.2 Sensores acústicos SAW

Os sensores de toque acústicos do tipo *surface acoustic wave*, SAW, são constituídos por um substrato de vidro, quatro refletores e quatro piezotransdutores. Para cada eixo existe um par de transdutores, um recetor e um emissor, que permite ao controlador emitir ultrassons, habitualmente de 5MHz, e receber o mesmo sinal que é encaminhado pelos refletores.

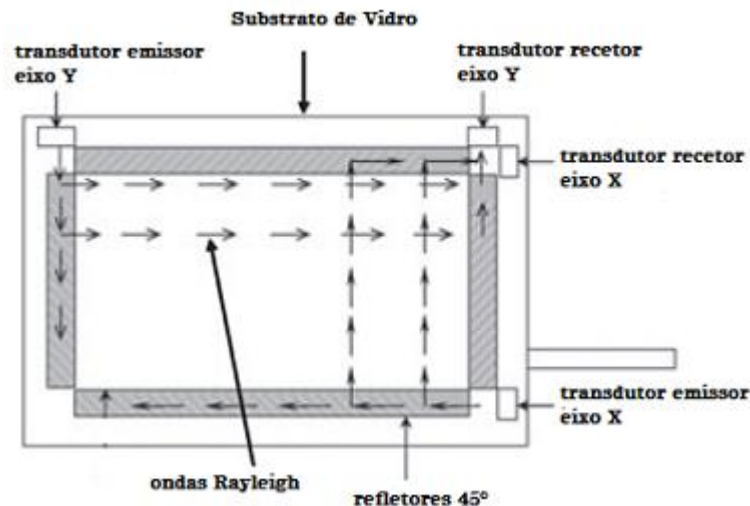


Figura 4 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor de toque SAW[5]

O conjunto de ondas Rayleigh são reencaminhadas desde o transdutor emissor até ao recetor por refletores de 45°. O intervalo de tempo entre a emissão e a receção está associado à distância do seu percurso. A deteção do toque é feita no domínio do tempo medindo a redução em amplitude das ondas sonoras. Isto é, aquando do toque, parte da energia é absorvida e consequentemente a onda chega ao transdutor recetor com uma amplitude significativamente menor. Em ambos os eixos, cada coordenada está indexada por um valor no domínio do tempo que está diretamente relacionado com a distância do percurso da onda[5].

Os sensores de toque do tipo SAW apresentam boas características óticas assim como um tempo de vida elevado. Contudo, não são resistentes a contaminações na superfície, que podem



levar a detecção errada de pontos toque ou mesmo a criação de zonas cegas. Também não são sensíveis ao toque de objetos de pontas rígidas e o seu custo de produção é elevado [7].

Postos de informação interativos, máquinas de venda de bilhetes e máquinas de transações financeiras são exemplos de produtos comerciais que utilizam sensores de toque SAW.

### 2.1.3 Sensores Infravermelhos

As primeiras tecnologias de sensores de toque infravermelhos, IR, apresentam emissores LED IR em dois lados adjacentes e detetores IR nos dois lados restantes. Cada LED emite uma luz a ser recebida pelo respetivo detetor. O controlador calcula a posição do toque sabendo o par de detetores (um para cada eixo) que foi interrompido. Esta configuração está limitada a detetor apenas um toque a cada instante [8].

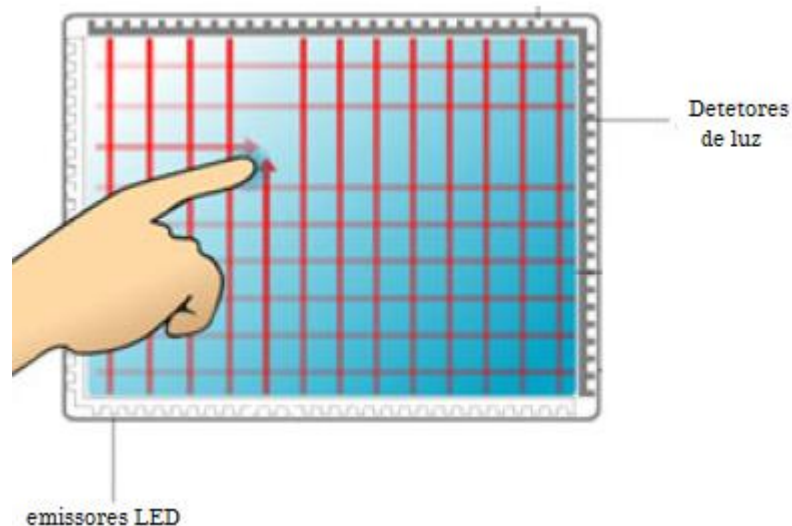


Figura 5- Representação do processo de toque num touchscreen IR [9]

*High-finger count* foi uma tecnologia desenvolvida para permitir a detecção de mais que um toque em simultâneo. A sua constituição é muito semelhante a um sensor IR tradicional, em que dispõe de IR LEDs e detetores. Cada IR LED emite um *flash* de luz e todos os detetores medem a sua intensidade. Este processo é repetido para cada um dos IR LEDs e o controlador calcula as posições dos toques baseado nas sombras resultantes medidas pelos detetores [5].

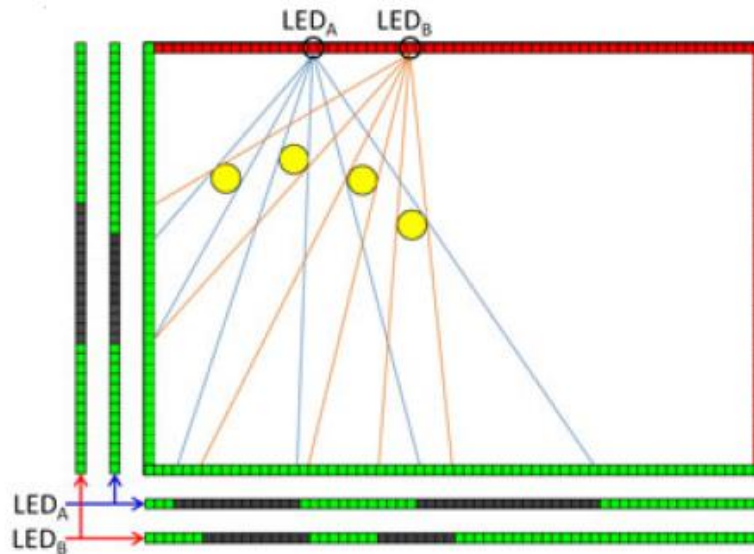


Figura 6 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor IR High Finger Count[5]

As superfícies de toque com recursos a sensores de infravermelhos apresentam vantagens como a sua durabilidade, a deteção de multitoque, boa qualidade ótica e permitir a deteção do toque de qualquer objeto. Os contras passam por ser sensível à água e a luz do dia, apresentar uma baixa resolução e ter um custo de produção elevado[8].

Este tipo de sensores é integrado frequentemente em máquinas multibanco *ATM*, máquinas de venda de bilhetes e em quadros escolares interativos.

#### 2.1.4 Sensores capacitivos

Um sensor de toque capacitivo resume-se a um painel revestido de um material capaz de armazenar cargas elétricas. Quando se dá o toque, parte da carga elétrica é absorvida no contato. A alteração de carga é medida por sensores, situados nos cantos do painel, que permitem ao controlador identificar o toque e a sua posição[10]. *Surface capacitive* e *projected capacitive* são as duas principais tecnologias deste tipo de sensores.

##### *Surface Capacitive*

A tecnologia *Surface Capacitive* apresenta uma camada condutora transparente, que pode ser ITO, TO ou ATO, sobre um substrato de vidro. De forma a garantir a linearização do sistema, à camada condutora é ligada a um padrão de elétrodos de prata impressos. Os elétrodos são ligados a uma camada rígida, habitualmente feitos de dióxido de silício.

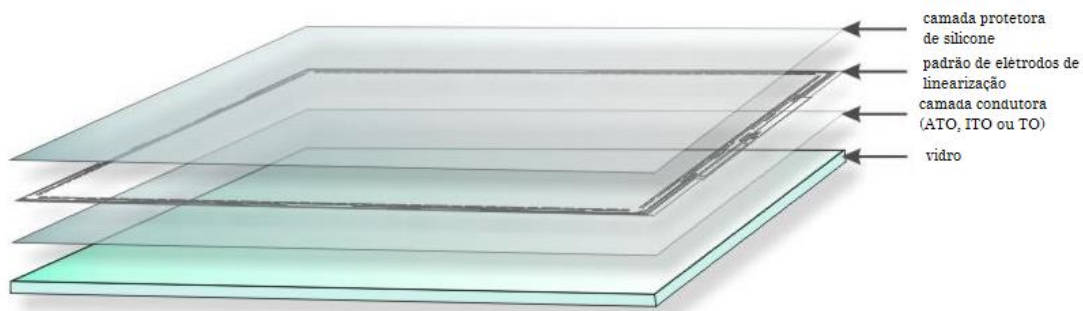


Figura 7 - Representação da estrutura genérica de um sensor *Surface Capacitive*[11]

Esta tecnologia, utiliza um campo eletrostático uniforme, que resulta da aplicação de corrente alternada aos cantos da camada condutora. Os quatro cantos são sujeitos à mesma tensão, isto é, os mesmos valores em fase, frequência e amplitude. Aquando do toque, dá-se uma variação da corrente que atravessa os cantos da camada, em relação ao seu valor em repouso, isto é, quando não há toque. A posição do toque, é determinada pela magnitude das correntes medidas, dado que esses valores são proporcionais à distância entre o ponto de contato e os cantos. No processo de determinar a posição, o controlador converte os valores de corrente medidos em corrente contínua e faz uma filtragem para remover ruído. Posteriormente dá-se a conversão dos dados para formato digital através do *ADC* interno do controlador para serem interpretados pelo computador[12].

Apesar de não permitir a deteção de múltiplos toques e apenas ser sensível ao dedo humano, esta tecnologia tem um custo de produção baixo, apresenta um tempo de vida elevado e é resistente a contaminações e arranhões.

Exemplos de aplicações dos sensores *Surface capacitive* em superfícies de toque são os terminais de venda, pontos de informação e equipamento médico.

### *Projected Capacitive*

Os sensores capacitivos englobados pela tecnologia *projected capacitive* ou *p-cap*, podem ser subdivididos em dois tipos: *Self-Capacitance* e *Mutual Capacitance*. Estas denominações são atribuídas atendendo ao número de elétrodos assim como ao método de leitura das capacidades.

Na topologia *Self-Capacitance*, o sensor possui apenas um elétrodo ao qual está associada uma capacidade conhecida em repouso. Ao dar-se o toque, é adicionada uma nova componente capacitiva, que se traduz num aumento do valor de *self-capacitance*.

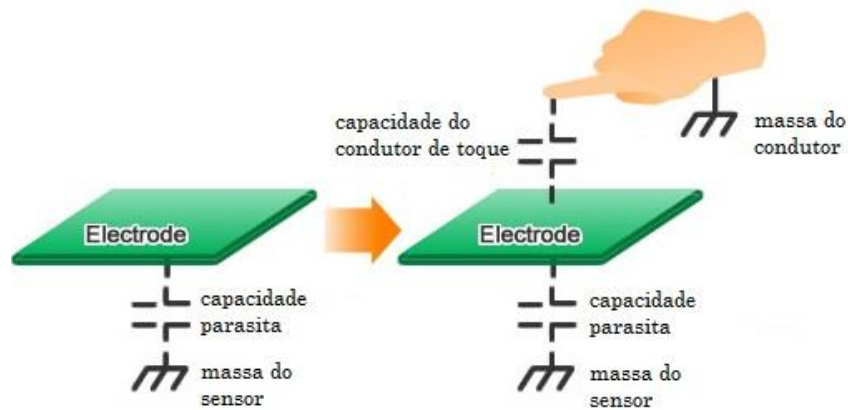


Figura 8 – Representação esquemática do funcionamento de um sensor de topologia *Self Capacitance* [13]

Uma superfície de toque do tipo *Self Capacitance* é constituída por um padrão de condutores transparentes o que resulta num conjunto de elétrodos espaçados. Estes elétrodos, podem estar dispostos numa camada única ou em duas camadas distintas, uma para cada eixo. Quando a camada é única, um elétrodo representa um par de coordenadas  $P(x,y)$ . No caso de ser de duas camadas, as linhas e as colunas do condutor são separadas, e cada elétrodo está associado a uma coordenada. A posição do toque é dada intersetando os valores de linha e coluna medidos que é processado pelo computador. Isto é, não são lidas interseções, mas sim coordenadas individuais para cada eixo[14].

A disposição dos elétrodos em camadas distintas ou em camada única, apresentam diferentes limitações, sendo que nenhuma das opções é recomendável para a deteção de múltiplos toques. Apesar de ser possível medir diferentes toques ao mesmo, a distribuição em camada única exige que o controlador seja capaz de endereçar cada posição individualmente. Assim, pretendendo uma boa resolução na medição torna-se um desafio complexo e mais exigente quanto maior a área da superfície. Ou seja, para a mesma resolução, quanto maior a área, maior o número de elétrodos e maior o numero de ligações do sensor ao controlador[15].

Quando a disposição das linhas e colunas dos condutores é dividida em duas camadas, o a deteção de multitoque não é possível, sendo detetados toques inexistentes denominados pontos fantasma. A figura 9 ilustra o resultado interpretado pelo controlador no caso de multitoque mais simples, isto é, dois toques.

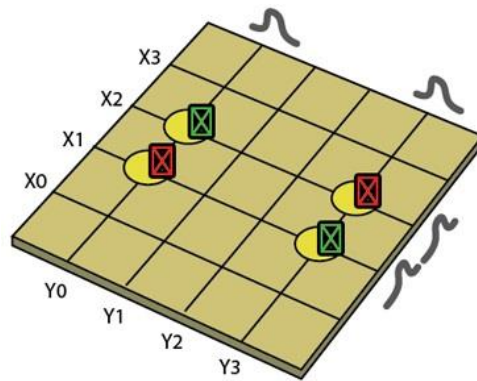


Figura 9 – Representação do fenômeno de pontos fantasma na topologia *Self-Capacitance* [16]

Para o exemplo apresentado na figura 9, o controlador irá detectar variações de capacidade em quatro elétrodos que se traduzem em dois valores de coordenadas para cada eixo. Contudo, como os elétrodos são medidos individualmente, o controlador não é capaz de determinar as interseções dos dois eixos. O resultado deste processo finda com o aparecimento de dois pontos de toque inexistentes consequentes das combinações possíveis dos valores de coordenadas para cada eixo. Apesar de todas as limitações, a utilização de desta topologia em aplicações a dois toques é possível, no caso de ser irrelevante a posição exata dos toques. Por exemplo, o procedimento de ampliação de uma imagem que sucede em muitos *smartphones*, mover dois dedos em direção contrária, é aplicável ao estimar a direção do gesto em *software*. [17]

No caso dos sensores *p-cap Mutual Capacitance*, o princípio de funcionamento rege-se pelo fenómeno de dois condutores distintos ao estarem próximos conseguirem reter carga, o que se traduz numa capacidade elétrica entre os dois. Quando um terceiro condutor se aproxima, a capacidade entre os dois primeiros condutores diminui o seu valor dado que parte da carga se transfere para o terceiro condutor, como ilustra a figura 10.

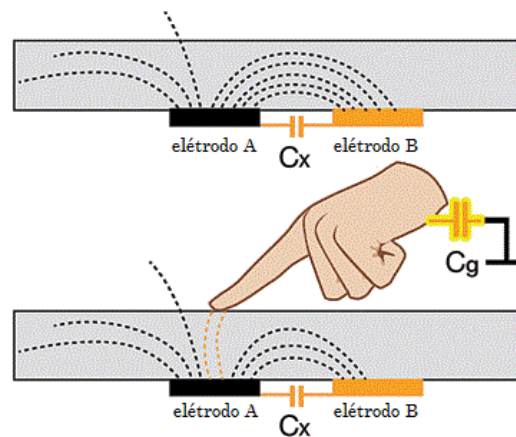


Figura 10 – Representação esquemática do princípio de funcionamento de um sensor *Mutual Capacitance* [18]

Os sensores *mutual capacitance* podem ser constituídos por diferente numero de camadas sendo que geralmente se regem por um conjunto de camadas base. A base é regularmente uma camada de substrato de PET e o topo um substrato rígido transparente de vidro. As duas camadas condutoras são habitualmente constituídas por ITO. Todas as diferentes camadas estão separadas por uma camada de adesivo.

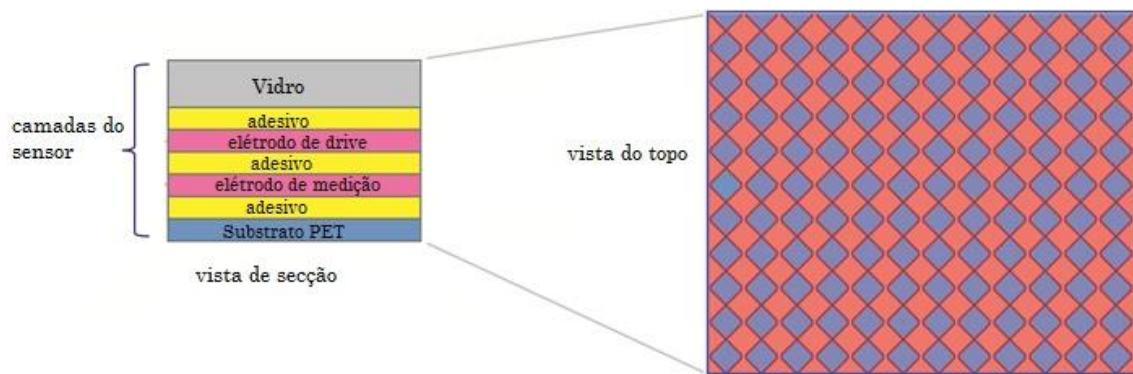


Figura 11- Representação das camadas constituintes de um sensor Mutual Capacitance [19]

Apesar de existirem diferentes geometrias para os eletrodos, estes apresentam sempre uma disposição em forma de matriz (Figura 11). Cada eletrodo representa uma linha ou uma coluna e, tal como sucede em alguns sensores *Self-Capacitance*, os eletrodos das linhas e das colunas são dispostos em duas camadas distintas[13].

No processo de deteção de toque, é tomada como referência uma coluna em  $yy$  e são medidos os valores de capacidade entre esse ponto todas a linhas em  $xx$ . Este processo é repetido sucessivamente até se passar por todas as colunas e recomeça o ciclo. Apesar de requerer um processamento muito superior ao controlador comparativamente aos sensores *Self-Capacitance*, esta topologia proporciona a medição de múltiplos toques em simultâneo apenas limitado pela capacidade de processador[20].

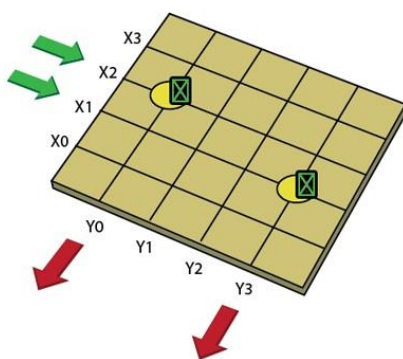


Figura 12- Representação da leitura de 2 toques num sensor *Mutual Capacitance* [16]

Esta topologia vem suprimir os pontos fantasma, presentes nos sensores *Self-Capacitance*, uma vez que cada par de coordenadas é identificado inequivocamente pelo processo de leitura, que identifica as interseções entre linhas e colunas (Figura 12).

A tecnologia *Projected Capacitive* domina hoje em dia o mercado dos *smartphones* e *tablets* assim como está presente em computadores de bordo no ramo automóvel e postos de informação. A utilização deste tipo de sensores em superfícies de toque confere ao produto durabilidade, fiabilidade, qualidade de imagem, sensibilidade e deteção multitoque. Para grandes superfícies de toque torna-se uma opção cara pelo que não é habitual em grande escala. Contudo, esta tecnologia apresenta como desvantagens ser sensível a interferências eletromagnéticas e não permitir a deteção de toque de todo o tipo de objetos[5].

## 2.2 Técnicas de Impressão

### 2.2.1 Inkjet Printing

O aparecimento das primeiras impressoras de jato de tinta remonta à década de 1970, tendo como principais responsáveis pela sua evolução marcas como Canon, Epson, Hewlett-Packard e Lexmark. Estes fabricantes são ainda hoje dominadores no mercado de impressoras.

O processo de impressão *inkjet printing* consiste na deposição de gotas de tinta sobre um substrato que pode ser constituído por diferentes materiais, como por exemplo papel ou plástico. O periférico de impressão não necessita de máscaras físicas nem de mecanismos de remoção de tinta excedentária dado que este processo se baseia em recriar uma imagem digital. Ou seja, a tinta é impressa diretamente no substrato sem recursos a máscaras físicas, o que

consequentemente torna a tecnologia económica comparando com técnicas de impressão alternativos como o processo de gravura. Dentro da tecnologia *inkjet printing*, é possível encontrar dois tipos de impressoras, com funcionamentos distintos, denominadas contínuas ou *drop-on-demand* (Figura 13)[21].

Nas impressoras contínuas, o ciclo de impressão começa pela formação das gotas que sucede aplicando uma onda acústica gerada por um cristal piezoelétrico a um segmento de tinta. Posteriormente, as gotas de tinta são sujeitas a um campo eletrostático gerado pelos eléctrodos de carga, que varia consoante a informação fornecida pelo driver de carga, de forma a controlar o angulo de impressão no substrato. Por fim, são sujeitas a um novo campo eletrostático que serve de defletor, encaminhando a tinta para o substrato, ou para a calha de reutilização.

Para o exemplo das impressoras do tipo *drop-on-demand* a tinta apenas é expelida com destino ao substrato, isto é, não existe reutilização. Durante o ciclo de impressão, o sinal de imagem é recebido pelo transdutor que aciona ou não o mecanismo de impressão. Existem dois tipos de transdutores utilizados em impressoras *drop-on-demand*, o que divide em duas tecnologias diferentes: *Thermal inkjet printing* e *Piezo inkjet printing*[21].

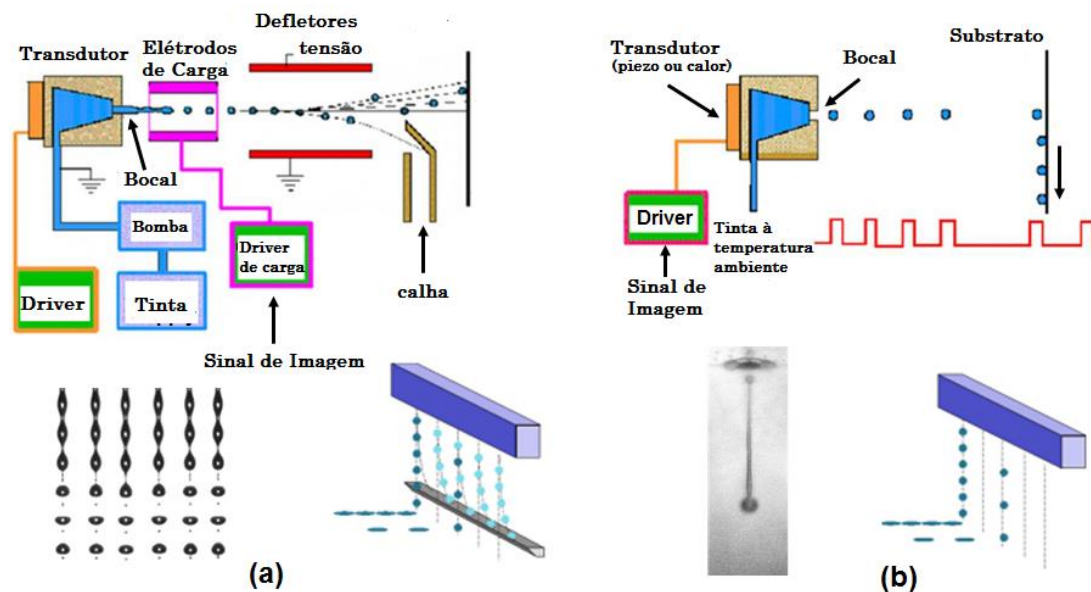


Figura 13 – Representação esquemática do funcionamento do processo de Inkjet Printing: a) Impressão contínua; b) Drop-on-Demand [22]

Na tecnologia *thermal inkjet printing*, o driver envia um pulso de corrente transformado em calor pelo transdutor. Este fenómeno provoca a vaporização rápida de um segmento de tinta na câmara formando uma bolha que exerce pressão no reservatório levando à ejeção de uma



gota (Figura 14a). Para a tecnologia *piezo inkjet printing*, é utilizado um elemento piezoelétrico junto à câmara da impressora, que altera a sua forma quando sujeito a uma tensão. Ou seja, quando sujeito a uma tensão, o transdutor faz aumentar a pressão na câmara o que força uma gota de tinta a sair (Figura 14b).

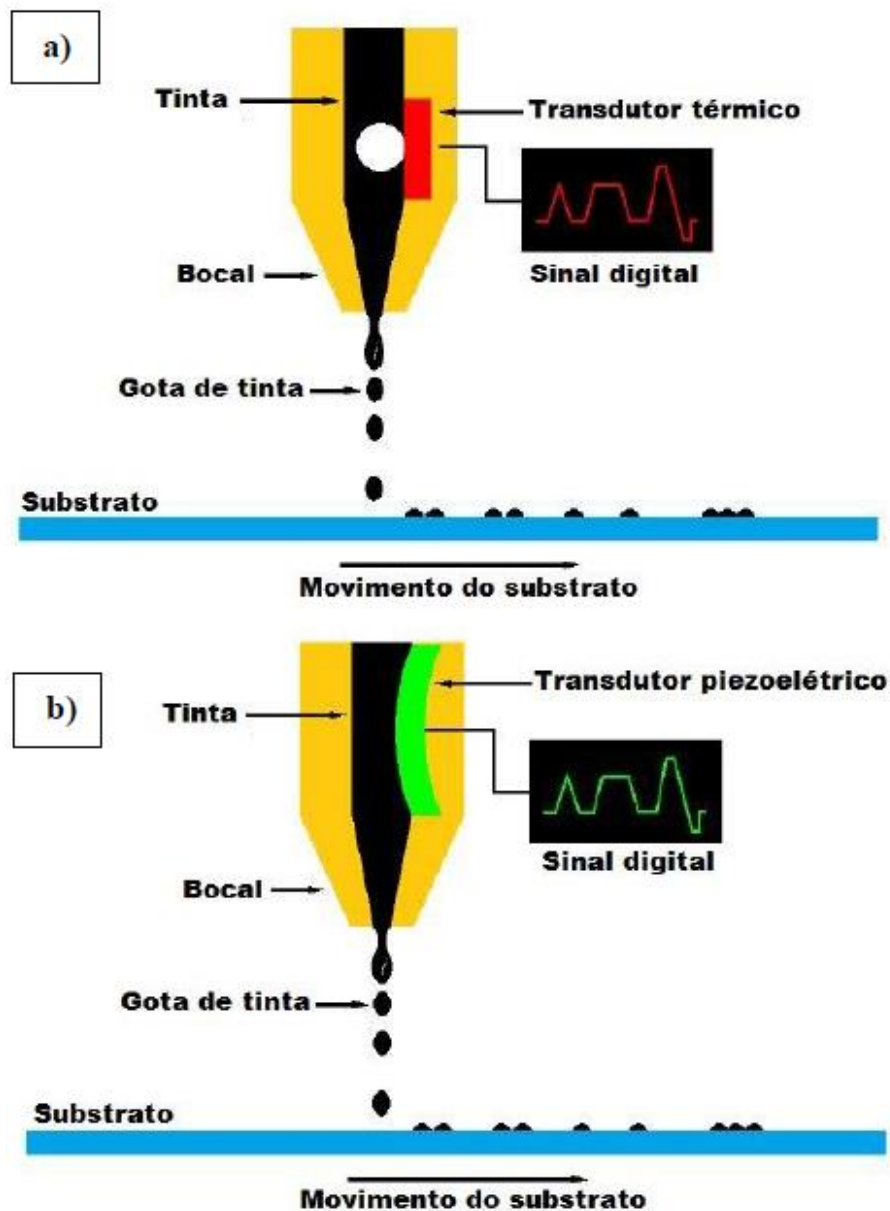


Figura 14 – Representação esquemática do processo de impressão Drop-on-Demand:  
a) *thermal inkjet printing*; b) *piezo inkjet printing*;[23]

A tecnologia *thermal inkjet printing* é vantajosa dado que garante a formação de gotas de pequenas dimensões o que permite impressões com boa resolução. No entanto, o fluido de impressão deve ser escolhido atendendo à necessidade de ser composta por materiais que suportem temperaturas elevadas bem como serem capazes de se vaporizar. A tecnologia *piezo*

*electric inkjet* garante a possibilidade de utilização de qualquer tipo de fluido e permite um controlo fácil de quantidade de tinta injetada.

### 2.2.2 *Screen Printing*

A tecnologia de *screen printing* apresenta outra técnica de impressão de tinta num substrato respeitando um molde previamente definido. Neste processo, a tinta é depositada sob a tela e posteriormente distribuída por toda a sua área por ação de um rodo varre toda a tela. Uma vez distribuída a tinta, o rodo volta a varrer toda a superfície da tela, exercendo alguma força em direção do substrato, que faz com que a tinta atravesse a malha. A tinta acaba por ficar depositada no substrato nas zonas permeáveis, definidas pelo desenho da malha (Figura 15)[24].

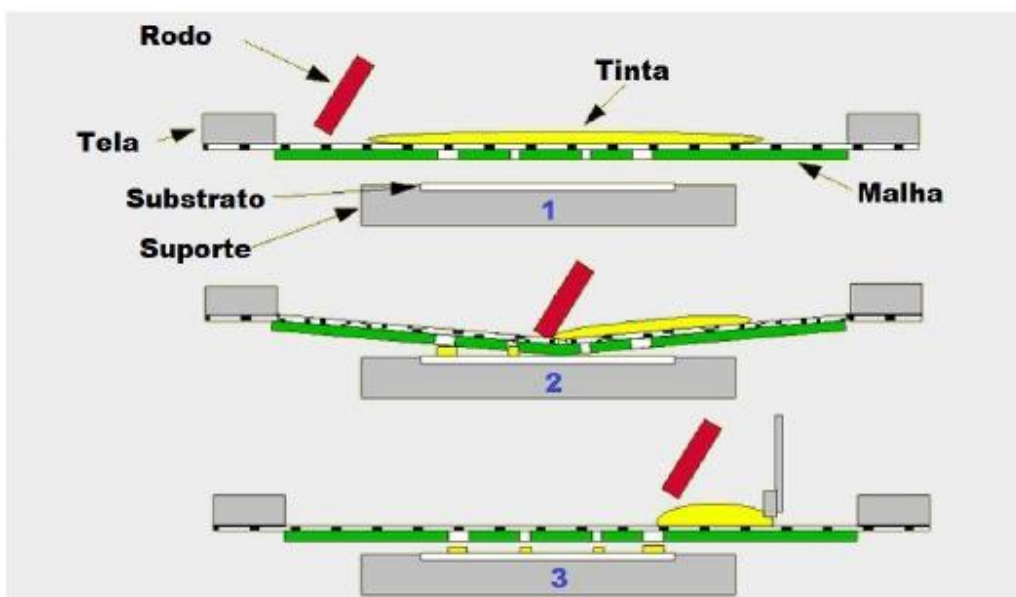


Figura 15 -Representação esquemática do funcionamento do processo de *Screen Printing* [25]

Comparativamente a outras técnicas para o mesmo efeito, o *screen printing* apresenta vantagens como ser um processo rápido, ser barato, dado que aproveita quase a totalidade do material utilizado e não ser poluente, visto tratar-se um processo de deposição mecânica[25].

Um dos contras desta tecnologia incide no facto de ser necessária a preparação prévia das telas para cada impressão o que se pode causar transtornos e utilização de recursos em vão, no caso de ocorrer um erro na preparação da malha.

As diferentes tecnologias de toque apresentam diferentes desempenhos relativos a um conjunto de propriedades que se mostram relevantes na escolha do tipo de sensor consoante a aplicação em questão.

*Tabela 1 - Classificação qualitativa das 5 tecnologias relativamente a diferentes propriedades*

	4-Wire Resistive	5-Wire Resistive	SAW	Capacitive	Infrared
Precisão	Normal	Normal	Elevado	Elevado	Elevado
Sensibilidade ao toque	Normal	Normal	Elevado	Elevado	Elevado
Resistência a Arranhões	Baixo	Baixo	Elevado	Elevado	Elevado
Resistência a contaminantes	Elevado	Elevado	Baixo	Elevado	Normal
Sensibilidade à luz ambiente	Elevado	Elevado	Elevado	Elevado	Baixo
Multitoque	Não	Não	Não	Sim	Sim
Custo	Baixo	Baixo	Elevado	Normal	Elevado

### 3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

#### 3.1 Overview

Fazendo uma visão geral do sistema realizado, este apresenta uma estrutura que pode ser representada por quatro blocos distintos que constituem as principais etapas do seu desenvolvimento (Figura16).

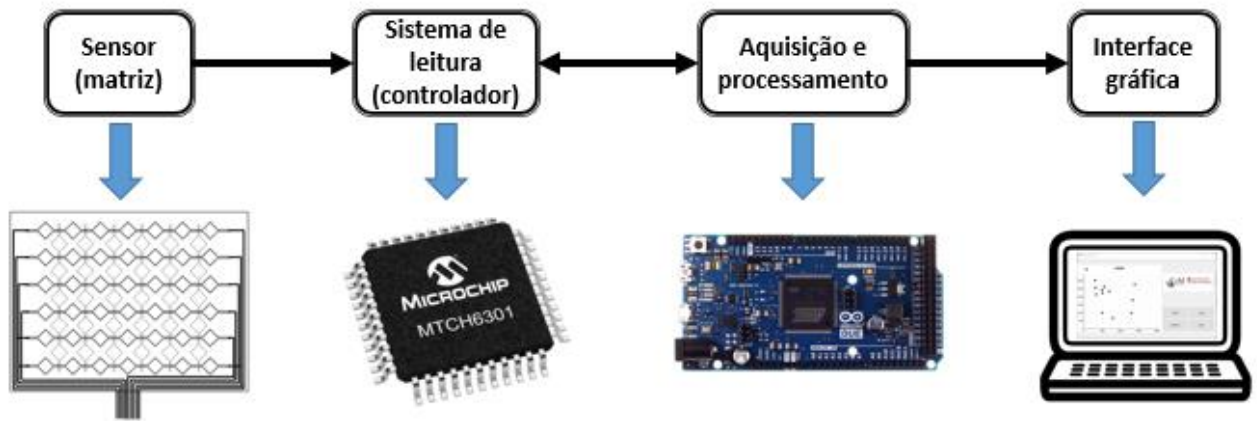


Figura 16 - Diagrama de blocos do sistema

Este capítulo irá apresentar e justificar as decisões tomadas para os diferentes blocos apresentados, atendendo aos requisitos da aplicação em que o sistema se insere. Mais concretamente, é apresentado o dimensionamento e *design* matriz, o desenvolvimento do circuito de leitura, o método de aquisição e processamento de dados e o método de representação dos resultados em ambiente gráfico.

#### 3.2 Matriz Capacitiva

No processo de desenvolvimento da matriz foi necessário atender a vários aspetos inerentes à aplicação em que se insere bem como ao *hardware* existente no que concerne a controladores capacitivos passíveis de ser utilizados.

Na definição do tamanho da superfície, foi inicialmente pensado em tomar as dimensões do aquário do laboratório, aproximadamente 40x100cm. No entanto optou-se por utilizar

dimensões mais reduzidas, de forma a validar o conceito, para eventualmente mais tarde ser passível de ser adotada uma geometria em maior escala. Além das dimensões, foi necessário também pensar em diferentes alternativas inerentes ao *design* de forma a obter uma matriz sensível a toques leves, uma vez que o peso dos animais pode ser muito reduzido. Esta sensibilidade está dependente de vários fatores, sendo que no processo de *design* destaca-se a geometria dos elétrodos como o principal aspeto a ter em conta.

### 3.2.1 *Design 18x13*

Para o desenvolvimento do *design* da matriz recorreu-se à ferramenta da *software CadSoft Eagle*. O processo resultou no desenvolvimento de dois *designs* semelhantes, que apenas diferem no preenchimento dos seus elétrodos (figura 17,18). O objetivo foi desenvolver duas soluções que apresentassem sensibilidades diferentes para posteriormente utilizar a que mais se adequasse à aplicação.

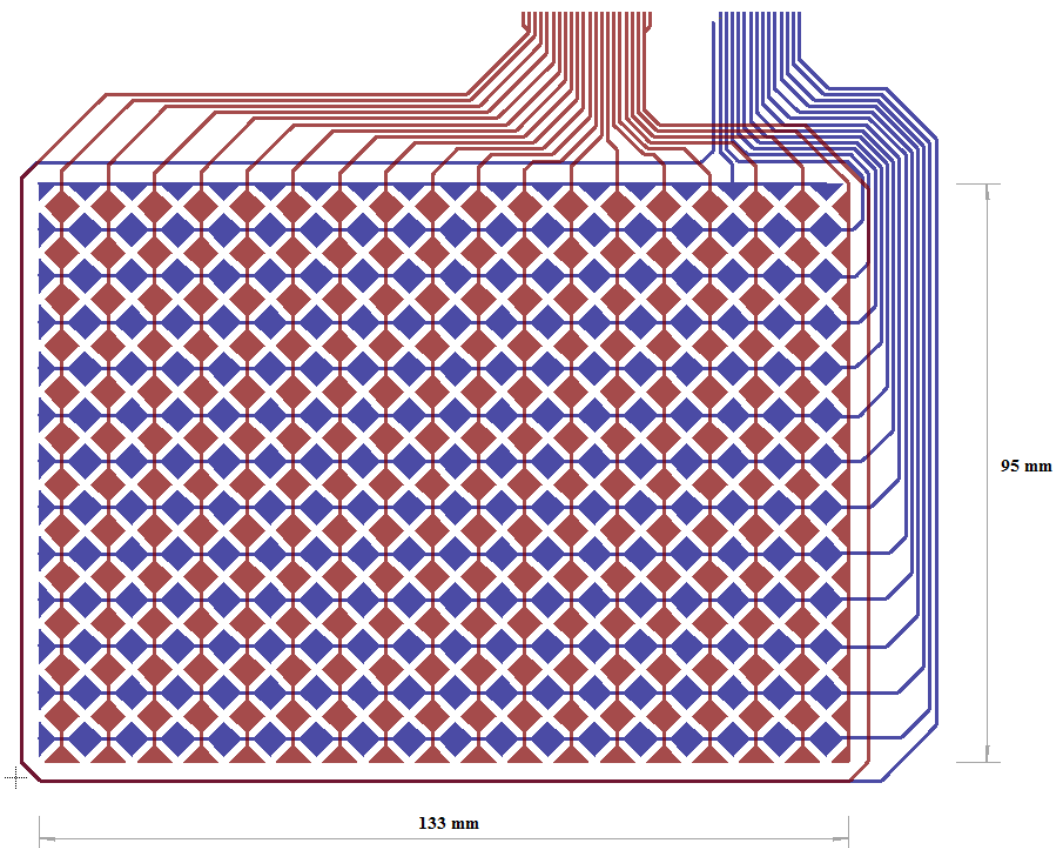


Figura 17 -*Design* da matriz 18x13 com losangos preenchidos desenvolvida em software CadSoft Eagle

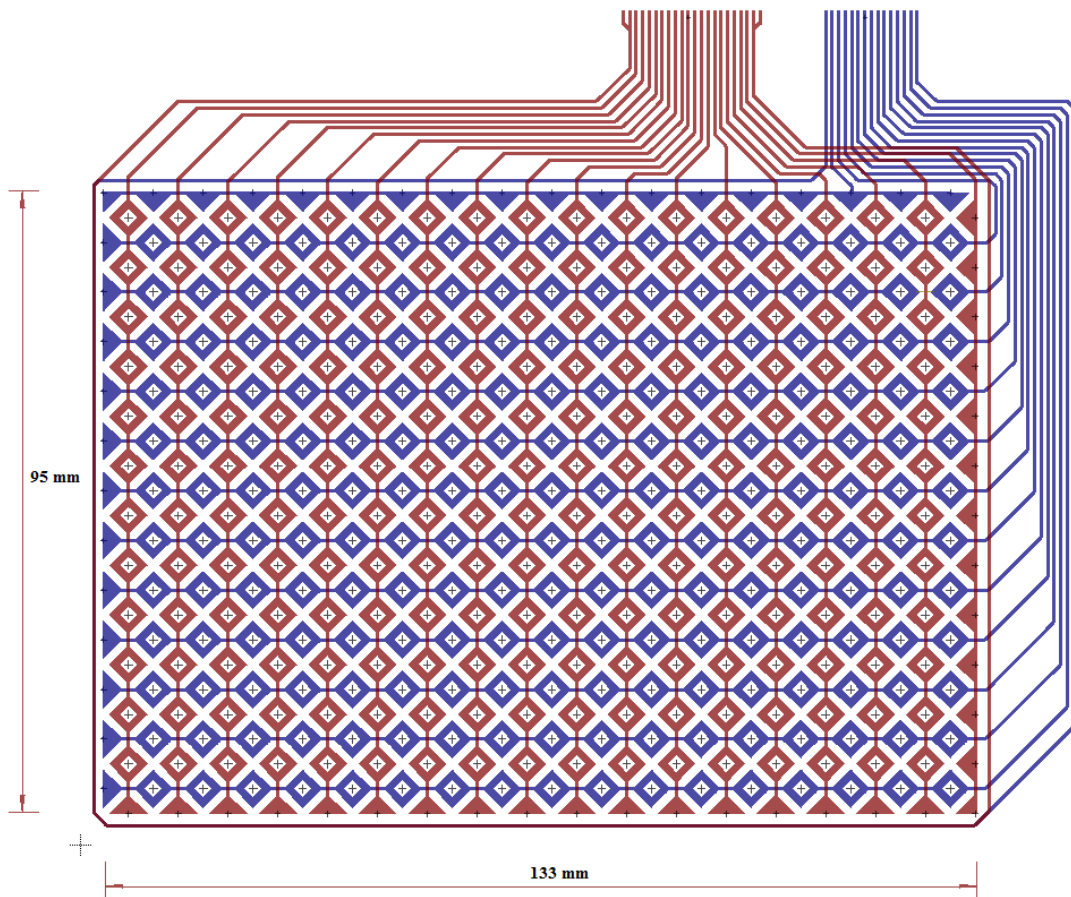


Figura 18 - Design da matriz 18x13 com losangos semipreenchidos desenvolvida em software CadSoft Eagle

Como ilustrado nas figuras 17 e 18, as matrizes apresentam um padrão igual com dimensões de 133x95mm, disposto em 13 linhas por 18 colunas. O número de linhas e colunas foi definido atendendo a um cruzamento de fatores nomeadamente a dimensão pretendida da superfície e os controladores capacitivos para a leitura mais adequados. A escolha do controlador, que será abordada posteriormente, fixou o número de linhas e colunas já referido, dado ser a sua capacidade máxima, 13x18.

Como é possível verificar, os segmentos de linhas e colunas são apresentados a cores diferentes, vermelho e azul, para distinguem as duas camadas para o processo de impressão, *Top* e *Bottom* respetivamente. O valor de largura das pistas, 0,5mm, foi definido atendendo aos requisitos do conetor escolhido para ligar a matriz à placa do circuito de leitura e respeitando valores que garantissem valores de resistência aceitáveis.

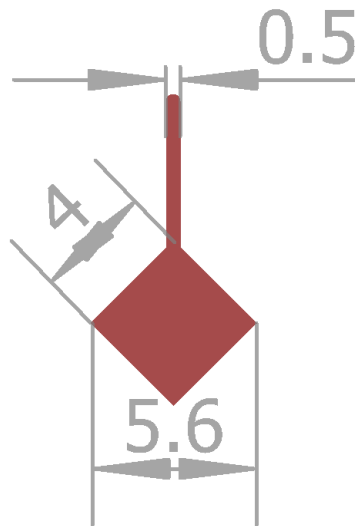


Figura 19 - Geometria com representação das dimensões do eletrodo preenchido

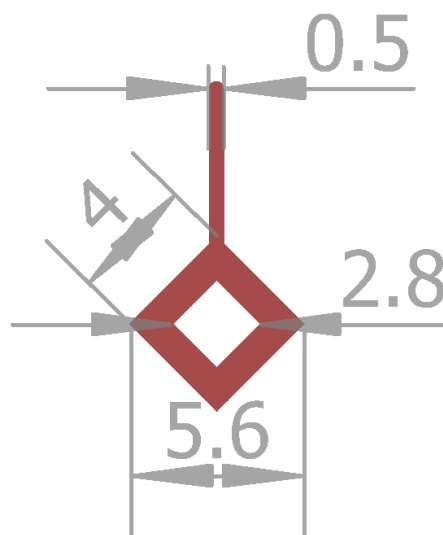


Figura 20 – Geometria com representação das dimensões do eletrodo semipreenchido

A geometria dos eletrodos é um parâmetro muito importante no desenho da matriz que se reflete no desempenho ao nível da sensibilidade. A geometria dos eletrodos em forma de losango ou diamante permite criar uma matriz com uma boa resolução, isto é maximizar o número de eletrodos por área não pondo em causa a sensibilidade da matriz. Por exemplo, comparando com uma solução que utilize eletrodos com a mesma área, mas com uma geometria retangular, esta irá necessitar de um espaçamento maior entre linhas e entre colunas de forma a garantir que não ocorrem sobreposições entre linhas e colunas, não afetando a sensibilidade do sistema. Caso não se tenha em conta as sobreposições, isto é, considerar o mesmo *design*

alterando apenas a geometria do elétrodo, a matriz irá apresentar uma sensibilidade ao toque inferior [26].

Nas matrizes realizadas pode observar-se as duas versões de elétrodos, com a mesma geometria, mas com áreas diferentes resultantes do seu preenchimento (figuras 19 e 20). Reduzindo as áreas dos elétrodos faz-se com que a capacidade mútua no seu estado de repouso seja menor e conseqüentemente maior o efeito de uma interferência externa, isto é, o toque.

### 3.2.2 Design 27x19

Como já referido, optou-se por desenvolver uma superfície com áreas relativamente reduzidas, tendo em conta a aplicação em questão, de modo a validar o conceito. No entanto, em antecipação a trabalho futuro, foi também desenhado o padrão definido para dimensões maiores 227x194mm. Manteve-se as dimensões dos elétrodos bem como as larguras das pitas. O resultado apresenta um padrão de 27 linhas por 19 colunas, valores máximos de ligações para o controlador selecionado.

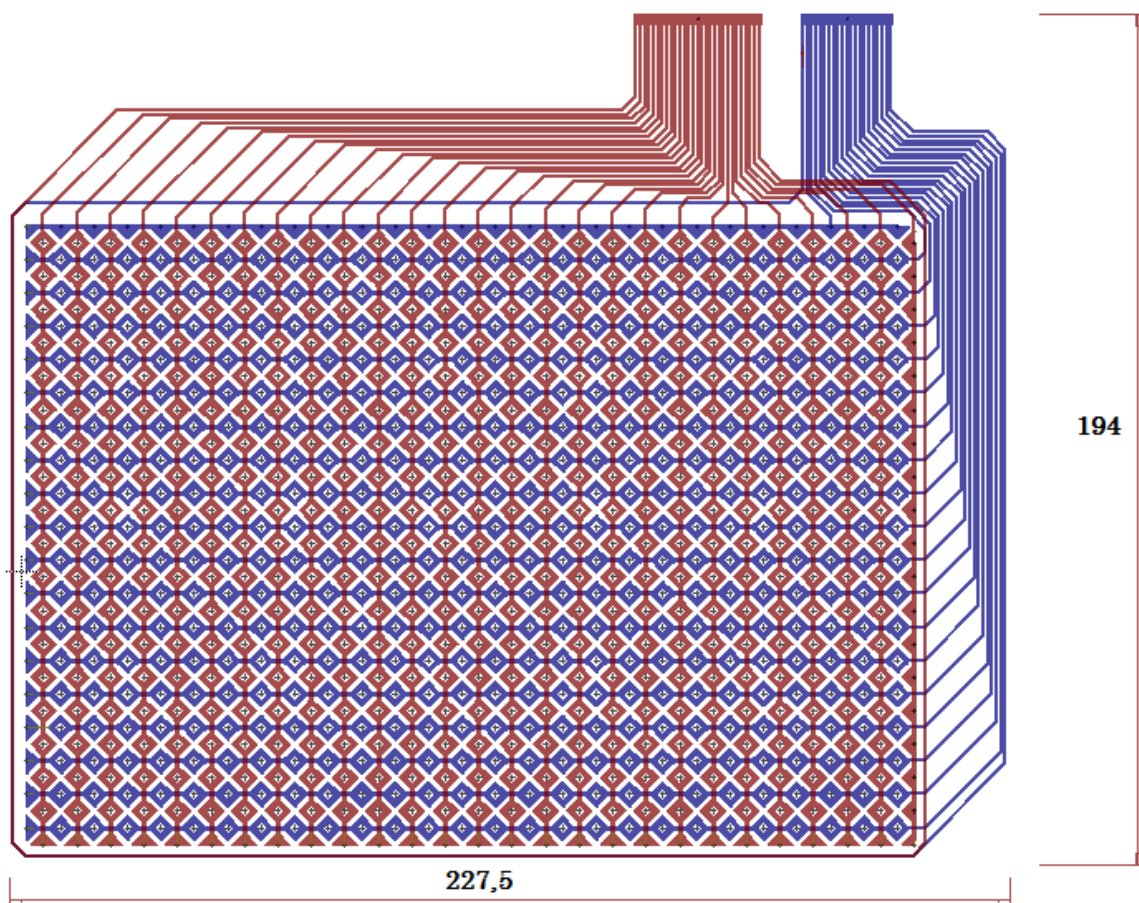


Figura 21 - Design da matriz 27x19 com losangos semipreenchidos desenvolvida em software CadSoft Eagle



### 3.3 Sistema de Leitura

De forma a poder utilizar a matriz, foi necessário desenvolver um sistema de leitura. Foi desenvolvido um circuito de leitura, que integra um controlador capacitivo. Este circuito representa uma interface entre a matriz e o sistema aquisição, permitindo ao último receber em formato digital informação relativa aos toques detetados pela matriz.

Este subcapítulo irá abordar a escolha do controlador, o circuito de leitura e o desenvolvimento da *PCB* do mesmo.

#### 3.3.1 *MTCH6301 e MTCH6303*

Foi realizada uma recolha dos diferentes controladores capacitivos existentes no mercado visando encontrar a melhor solução atendendo à aplicação em questão.

*Tabela 2 – Lista de controladores capacitivos relevantes para aplicação existentes no mercado*

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Ligações ou polegadas</i>	<i>Nº de toques em simultâneo</i>	<i>Toques/segundo em modo multi-touch</i>	<i>Comunicação</i>	<i>Package</i>
<b>Atmel</b>	mXT2954 T	4,5''	16		I2C	VFBGA497UFVGA49
<b>Atmel</b>	mXT2954 T2	15,6''	16		I2C	
<b>Azoteq</b>	IQS550	10x15	5	20	I2C	QFN48
<b>Microchip</b>	MTCH630 1	13x18	10	60	I2C	TQFP44/QFN44
<b>Microchip</b>	MTCH630 3	19x27	10	10	I2C	TQFP44/QFN44
<b>ST</b>	FingerTip	2'' - 13''	10	15	I2C	BGA/QFN
<b>Texas Instruments</b>	TSC3060	6x10	4		I2C	QFN24

Acabou por se escolher o controlador MTCH6301 da *Microchip* dado que apresenta características importantes como o número de toques detetado em simultâneo bem como o

número dos toques lidos por segundo. Apesar de outros controladores listados estarem ao nível do escolhido relativamente aos parâmetros referidos, ou até com melhores desempenho como é o caso dos modelos da Atmel, foi feito um balanço entre qualidade preço na escolha. Muitos fabricantes, que não a Microchip, exigem um número mínimo para a quantidade da encomenda o que por si só inviabilizou a utilização dos seus modelos.

Como é possível observar na tabela 1, o controlador MTCH6301 permite a deteção de 10 toques em simultâneo e um total de 60 por segundo, valores que são mais que aceitáveis para a aplicação em questão. Possui 13 ligações de receção e 18 de transmissão, o que se traduz na possibilidade de integrar um sistema com uma matriz de 13x18. A comunicação dos dados lidos na matriz é feita por I2C.

3.3.2 Circuito de leitura

A figura 22 ilustra o circuito exemplo de aplicação do MTCH6301 sugerido pela Microchip. A abordagem no desenvolvimento do trabalho foi a mesma apenas diferindo o número de ligações de linhas e colunas. A figura 22 apresenta as ligações da comunicação I2C com um microcontrolador genérico bem como as ligações entre a matriz e o controlador.

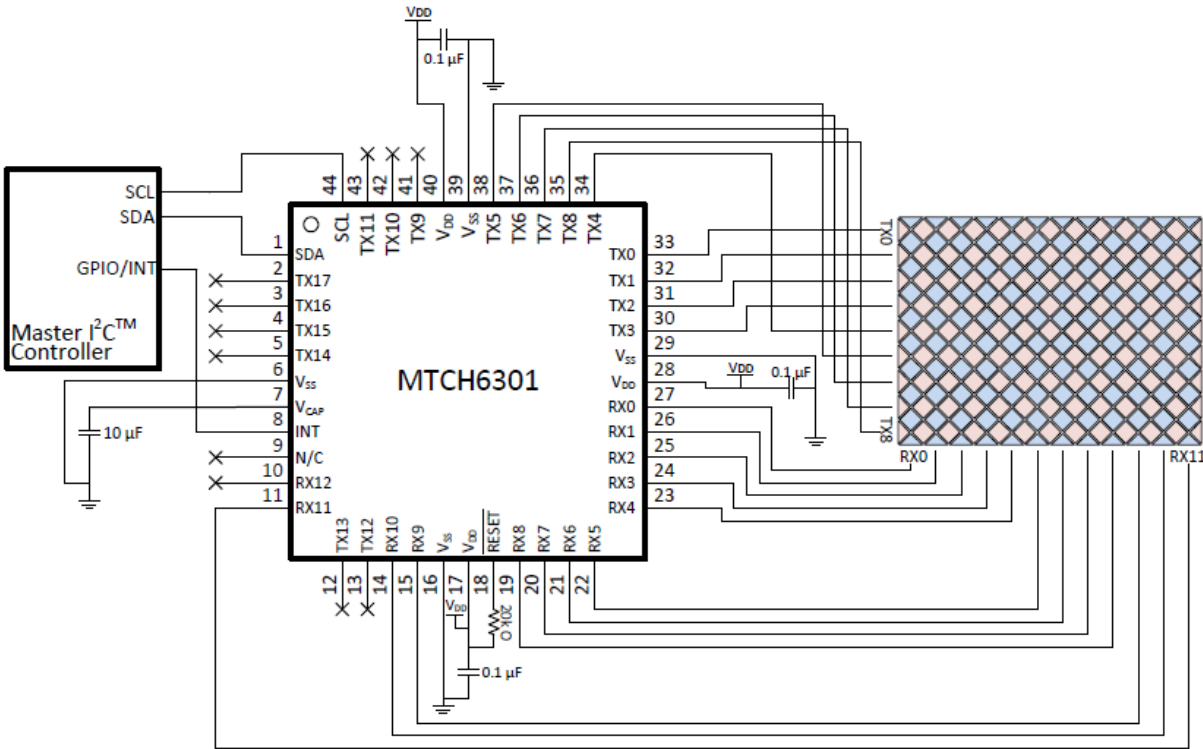


Figura 22 - Circuito de aplicação do MTCH6301 sugerido pelo fabricante[27]

### 3.3.3 Conectores

Antes de se iniciar o desenvolvimento do desenho da placa para o controlador, foi necessário pensar na ligação entre esta e a matriz. A opção que se verificou aparentemente mais eficaz seria o desenvolvimento de uma *PCB* flexível para a ligação mas iria acrescer significativamente o custo do sistema. A solução escolhida passou pela utilização de conectores FFC/FPC (figura 23) dado o seu baixo custo e ser de ligação fácil.

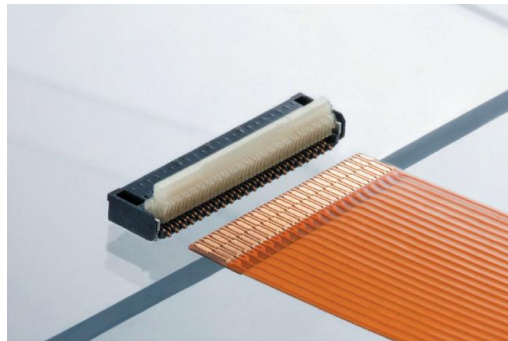


Figura 23 - Exemplo de um conector do tipo FFC/FPC

### 3.3.4 PCB

O desenvolvimento da *PCB* do circuito do controlador foi realizado no *software* CadSoft Eagle 7.5. As figuras 24 e 25 apresentam o esquemático do circuito e o *Layout* da placa respetivamente.

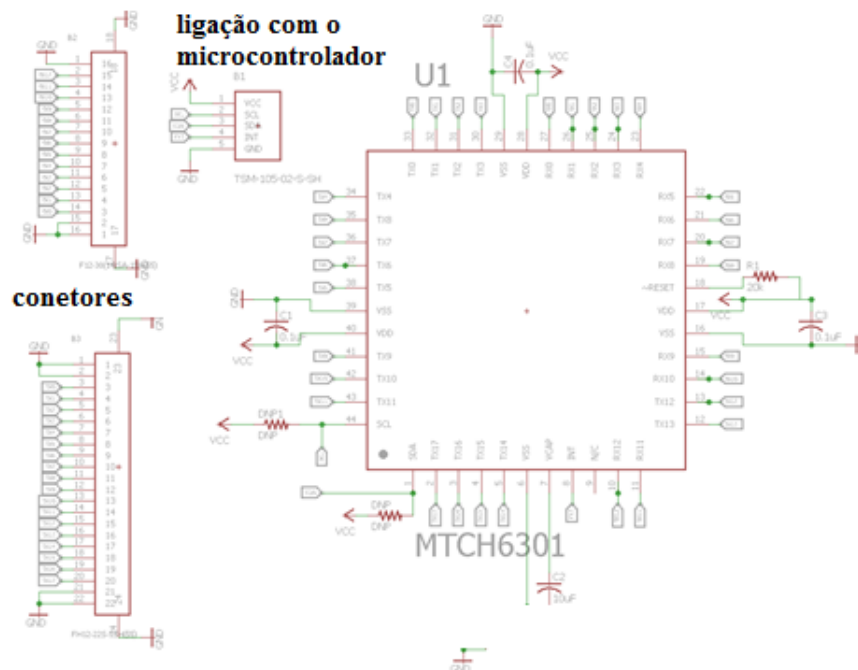


Figura 24 - Esquemático do circuito de leitura desenvolvido em software CadSoft Eagle

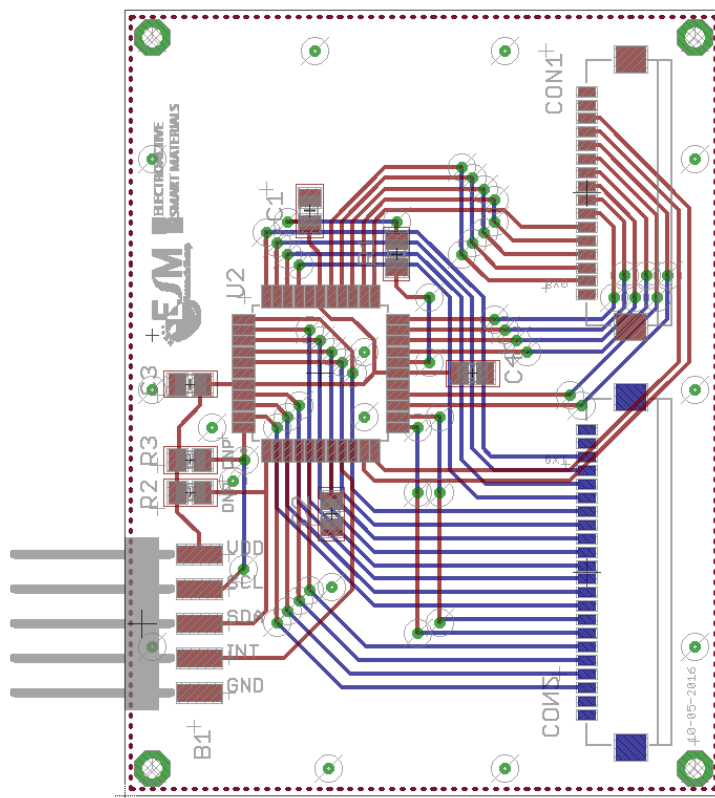


Figura 25 - Layout da PCB do circuito de leitura desenvolvido em software CadSoft Eagle

No desenvolvimento do layout da PCB foram desenhados todos os componentes principais, incluindo o controlador e os seus conetores à matriz bem como o conetor com o microcontrolador. A PCB desenvolvida é de duas faces sendo que a vermelho estão apresentados os componentes e ligações correspondentes à face superior e a azul a inferior.

### 3.4 Aquisição e processamento

De modo a ser possível a interligação a visualização de resultados no computador em ambiente gráfico, foi desenvolvido um sistema de aquisição e processamento dos dados provenientes do sistema de leitura. Assim, foi necessário integrar um microcontrolador adequado aos requisitos da aplicação.

Como já foi apresentado anteriormente, o controlador MTCH6301 envia no máximo 60 toques por segundo. Analisando a formatação da sua comunicação conclui-se que seria necessária uma velocidade de *clock* de comunicação I2C do microcontrolador de 3,2kHz.

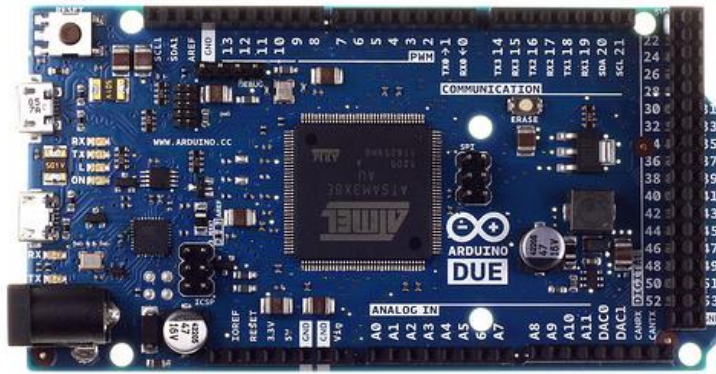


Figura 26 - Microcontrolador utilizado para o sistema de Aquisição[28]

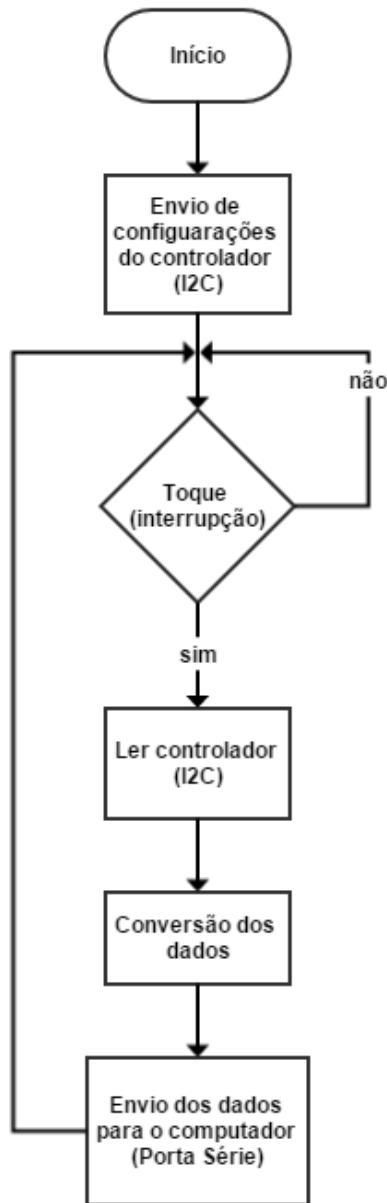
Optou-se pela utilização do Arduino Due, que é baseado no Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU, uma vez que não foi necessária a sua aquisição e pelo facto de ser um microcontrolador com o qual já se estava ambientado (figura 26). No entanto, esta escolha foi ciente de que não seria necessário a utilização de um microcontrolador com tantos recursos e com velocidades de processamento associadas que ultrapassam por grande margem os requisitos do sistema.



Figura 27- Diagrama representativo das comunicações do microcontrolador com o circuito de leitura e com o computador

O sistema de aquisição e processamento requer duas diferentes comunicações do microcontrolador. A comunicação com o MTCH6301 é feita via I2C, permitindo a configuração do mesmo bem como a receção dos dados referentes aos toques. O computador, destino final da informação, responsável pela representação em ambiente gráfico dos resultados, recebe os dados processados pelo microcontrolador via porta série (Figura 27).

A figura 28 apresenta a rotina do microcontrolador, que será explorada com mais detalhe posteriormente, responsável pela interface do microcontrolador com o controlador capacitivo e com a aplicação gráfica.



*Figura 28 – Algoritmo de alto nível da rotina do microcontrolador*

Na primeira vez que é executado o ciclo, dá-se a inicialização das configurações da comunicação e são enviadas as configurações para o controlador capacitivo via I2C. De seguida, o microcontrolador aguarda um sinal de interrupção externa enviado pelo controlador por consequência de um toque na matriz. Nesse momento, o microcontrolador lê os dados enviados pelo controlador referentes ao toque, que após convertidos num formato desejado são enviados via porta série para o computador. No fim deste ciclo, o microcontrolador aguarda uma nova interrupção externa, recomeçando o ciclo.

### 3.5 Interface Gráfica

A aplicação gráfica desenvolvida apresenta diversas funcionalidades relacionadas com a representação dos resultados. Esta interface, permite a utilizador visualizar em tempo real as posições dos toques bem como guardar os resultados num ficheiro de histórico para uma posterior análise ou reprodução em modo *offline*.

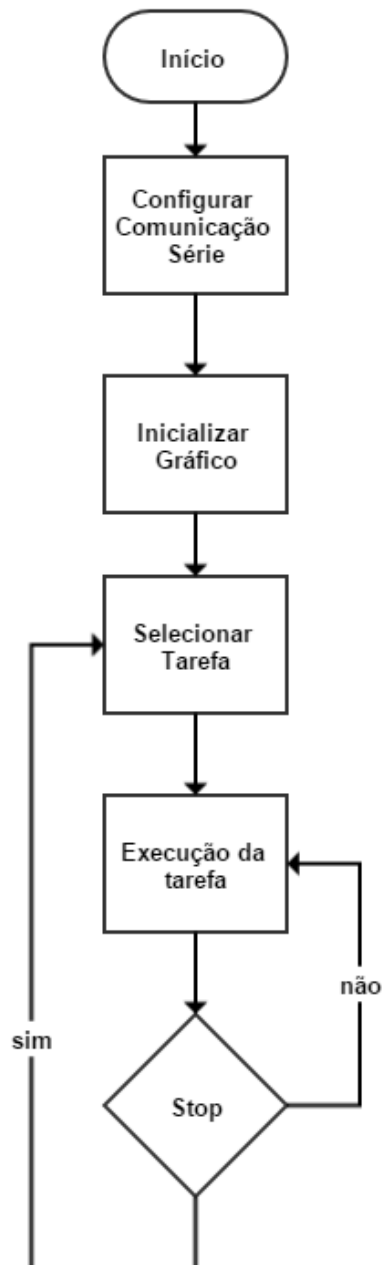


Figura 29 – Algoritmo de alto nível da rotina da interface gráfica

No início da aplicação é configurada a porta série e inicializados os parâmetros do gráfico para representação dos resultados. Posteriormente, aguarda-se que o utilizador selecione

uma das funcionalidades descritas anteriormente e dá-se a sua execução. O utilizador é responsável por solicitar o fim da execução, que quando sucede o programa volta ao estado de seleção de tarefa. Posteriormente serão explicadas com mais detalhe as diferentes funcionalidades.





## 4. IMPLEMENTAÇÃO

Ao longo deste capítulo, estão descritos todos os processos e técnicas adotadas na implementação para o desenvolvimento do sistema proposto. São abordados em detalhe os quatro segmentos principais do trabalho: matriz, circuito de leitura, sistema de aquisição e interface gráfica.

Na concepção das matrizes, foi adotado o método de *screen printing* com recurso a tinta de prata seguido de um processo de cura. Posteriormente as matrizes foram encapsuladas e reforçadas na zona de ligação aos conetores.

A PCB de leitura foi impressa seguindo o circuito de leitura desenvolvido e já apresentado no capítulo 3. Esta etapa contemplou o processo de soldadura dos respetivos componentes do circuito.

O desenvolvimento do sistema de aquisição integra a programação do microcontrolador, Arduíno Due, para configuração do controlador MTCH6301 via I2C. É também abordado o processamento dos dados relativos aos toques e a comunicação série com o computador.

A aplicação gráfica desenvolvida recorrendo à ferramenta de *software* QT Creator apresenta dois modos de funcionamento: Tempo real e modo *offline*.

### 4.1 Matriz

A escolha pela utilização de tintas de prata prende-se pelo facto de apresentar boa condutividade eléctrica e por ser fisicamente resistente evitando o seu desgaste prematuro.

#### 4.1.1 *Screen Printing*

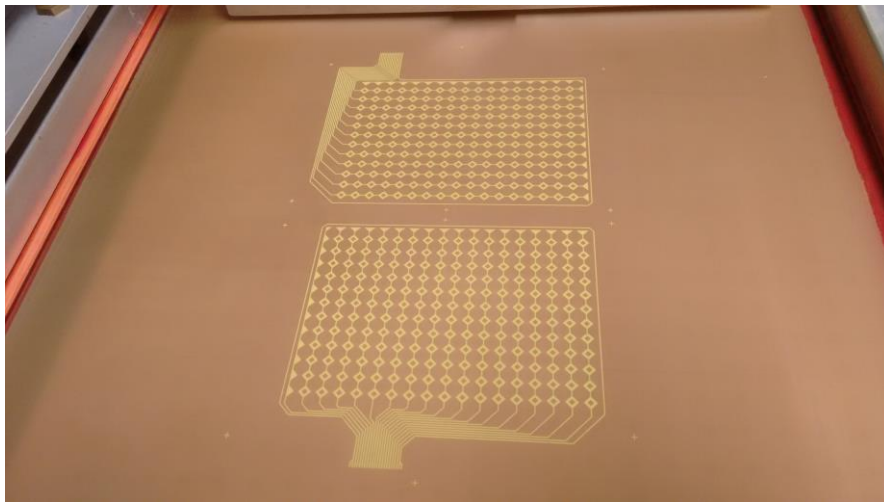
Para a impressão das matrizes foi utilizada a técnica de *screen printing* com recurso a tinta de prata. A impressão culmina o processo de desenvolvimento das matrizes que começou no desenho em *software* das mesmas.

A tinta utilizada no processo de impressão Dupont 5025, é baseada em prata que tem excelentes propriedades condutoras (Figura 35). No final da impressão, é realizado um processo de cura de forma obter valores de resistência eléctrica baixos nas pistas das matrizes.



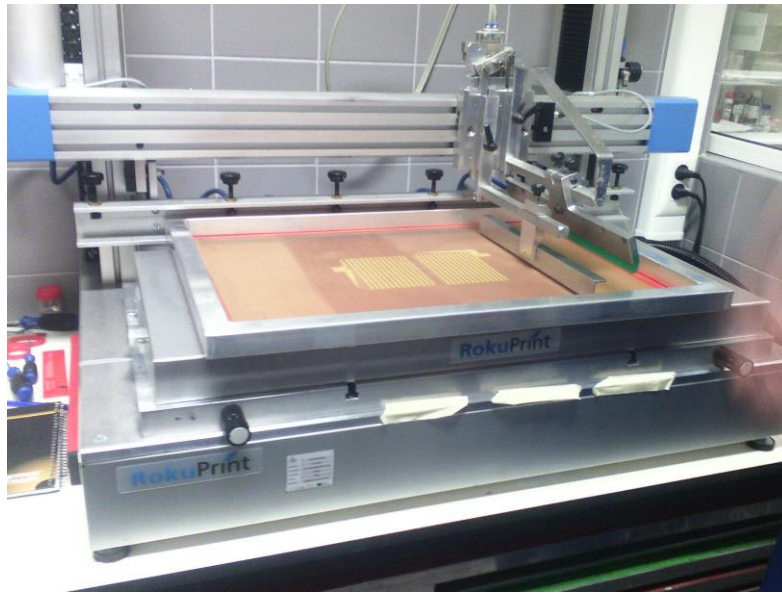
*Figura 30 - Tinta de prata utilizada na impressão*

Os dois *designs* elaborados, já apresentados no capítulo 3, foram utilizados para a preparação dos quadros definem as zonas do substrato onde se dá a deposição da tinta (Figura 31).



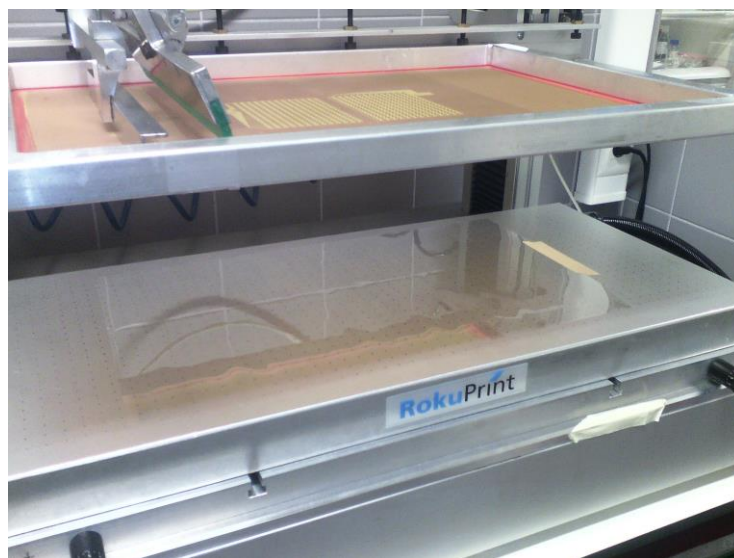
*Figura 31 - Quadro utilizado para impressão da matriz de eléctrodos semipreenchidos*

Antes de iniciar a impressão, é necessário colocar o quadro na máquina e fazer as devidas calibrações de forma a otimizar o processo garantindo a distribuição uniforme da tinta (Figura 32). As calibrações assentam num conjunto de operações predefinidas, mas que por vezes são necessárias iterações de tentativa erro, tal como sucedeu no presente caso. A máquina utilizada no processo de impressão é identificada por: RP 2.2+ KO04 +PRO02+VC02 Ruy Lacerda.



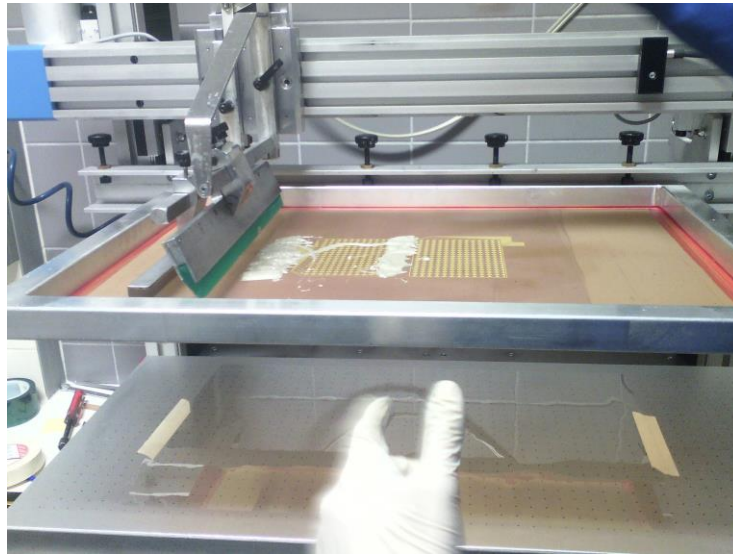
*Figura 32 - Quadro inserido na máquina de impressão*

Uma vez calibrada a máquina foi colocado o PET, substrato utilizado onde foi impressa a matriz. A figura 33, ilustra o estado do processo que antecede à deposição da tinta, sendo possível visualizar a posição do substrato e o quadro por cima.

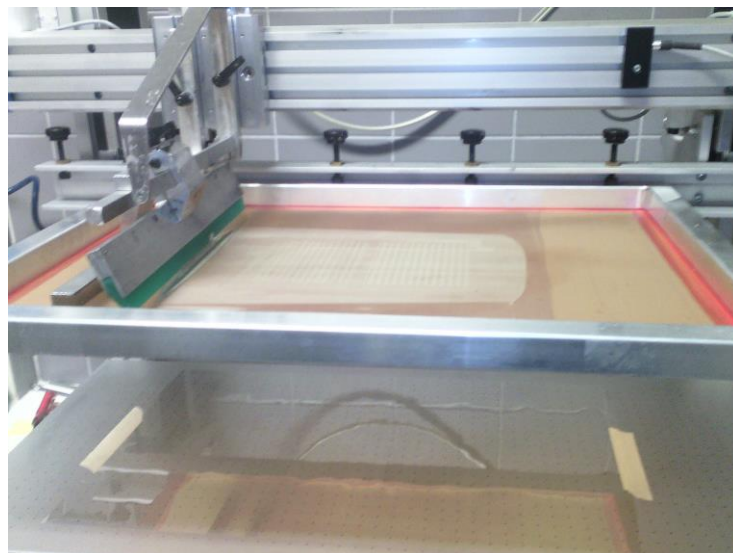


*Figura 33 - Etapa de impressão que antecede a colocação da tinta*

De forma a concretizar a impressão, colocou-se a tinta na tela e iniciou-se o programa de impressão da máquina. Neste processo, o suporte onde está assente o quadro desce ficando muito próximo do substrato e o rodo varre toda a superfície distribuindo para distribuir a tinta. Posteriormente, o rodo faz a viagem contrária exercendo mais alguma força sobre a tela fazendo a tinta passar para o substrato, seguindo o molde do quadro. As figuras 34 e 35 ilustram os momentos de início e fim de impressão respetivamente.

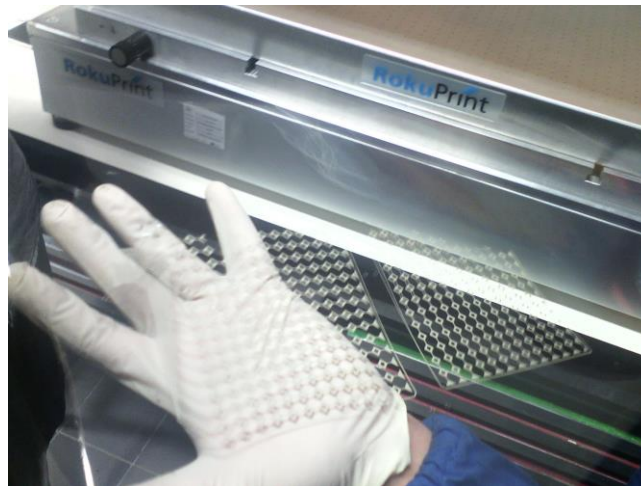


*Figura 34 - Colocação da tinta na tela de impressão*



*Figura 35 - Fim do ciclo de impressão*

Para cada matriz, foi necessária a impressão em ambas as faces, dado que os segmentos de linhas e colunas têm de estar colocados em lados diferentes do substrato. Uma vez que foram impressas várias versões das duas matrizes e dado que era necessário esperar que a tinta secasse para trocar de face, optou-se por imprimir o mesmo lado para todas as amostras. Posteriormente, após o processo de secagem, realizou-se o mesmo para a face em falta, que culminou com o processo de secagem novamente. A figura 36 ilustra o resultado da impressão de um dos lados de duas matrizes.



*Figura 36 - Matrizes impressas na primeira face*

No processo de secagem de tinta para impressão do lado oposto, foi utilizada uma máquina de radiação ultravioleta e infravermelhos da AcosGraf. As matrizes foram colocadas no tapete da máquina programado para um deslocamento de 1 m/s, num processo que se repetiu 5 vezes. As temperaturas utilizadas foram de 45°C, bastante abaixo dos 150° correspondentes à temperatura de teste de encolhimento do PET[29]. Assim, garantiu-se a não deformação do substrato evitando desalinhamentos no momento da impressão do lado em falta.

Uma vez impressas em ambos os lados, as matrizes foram sujeitas a um processo de cura, em moldes muito semelhantes ao que sucedeu na secagem da tinta. A única alteração incidiu na temperatura utilizada, que para o caso foi de 85° (Figura 37).



*Figura 37 – Processo de cura das matrizes*

#### 4.1.2 Encapsulamento

A utilização da tinta baseada em prata na impressão das matrizes, obrigou a tomar alguns cuidados adicionais de forma a garantir a sua durabilidade. Uma vez que se trata de um metal, deteriora-se ao longo do tempo em contato com o oxigénio, no processo natural de oxidação. Assim, as matrizes foram cobertas nos dois lados por camadas protetoras transparentes (Figura 38). Além do evitar a oxidação, o encapsulamento adicionado permitiu tornar as matrizes mais resistentes aumentando o seu tempo de vida.

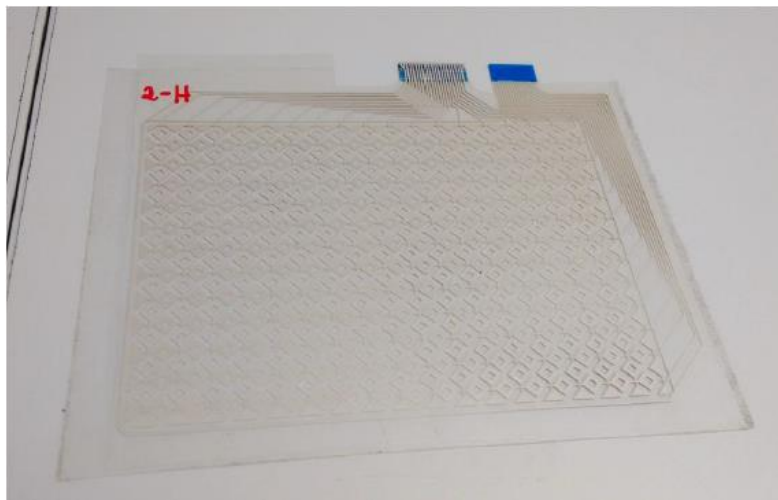


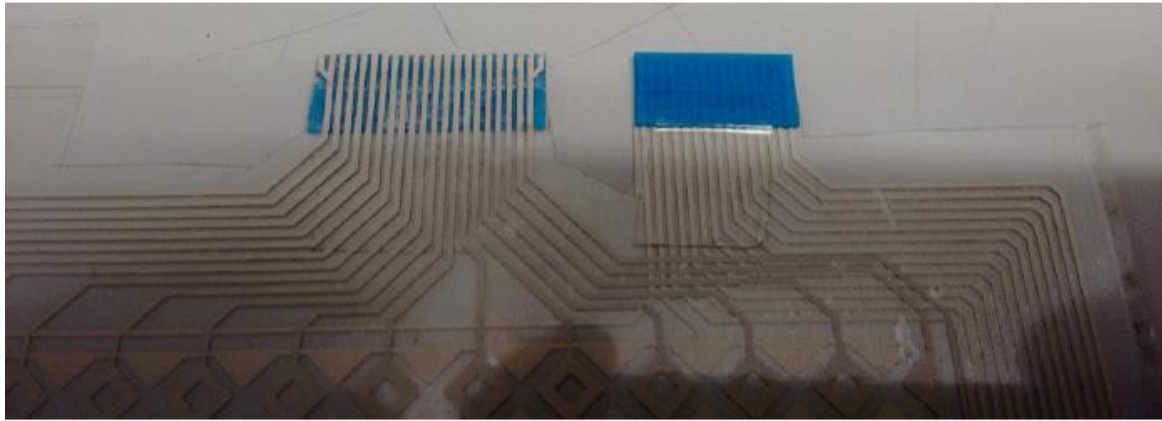
Figura 38 - Matriz final com encapsulamento

#### 4.1.3 Conectores

Tendo em vista a ligação da matriz à PCB do circuito de leitura, no desenvolvimento do *design* prolongou-se a terminação das linhas e das colunas de forma a encaixar no conetor utilizado. Embora o *design* tenha sido feito mediante as medidas do conetor, na execução prática do trabalho verificou-se que o substrato da matriz não tinha espessura suficiente para ficar seguro. Assim, foi necessário arranjar solução de forma a proporcionar espessura na zona de ligação da matriz, interferindo o mínimo possível nas suas propriedades.

Na primeira abordagem, que acabou por ser descartada posteriormente, utilizou-se fita de *kapton* que mostrou não ser a melhor solução uma vez que foi necessária a sobreposição de 3 camadas para a matriz ficar presa ao conetor.

A abordagem final tomada passou pela utilização de placas de reforço que, uma vez que se trata de um material mais rígido, além de manter a matriz segura ao conetor permitiu uma ligação eletricamente mais estável (Figura 39).



*Figura 39 - Ligações da matriz ao conetor com aplicação de placas de reforço*

## 4.2 PCB do circuito de leitura

De acordo com o layout dimensionado e apresentado no capítulo anterior, foi impressa a PCB do circuito de leitura. Na figura 40, apenas se consegue visualizar um dos conectores, dado que o que está em falta está impresso no lado oposto, seguindo o que sucede com a matriz.



*Figura 40 - PCB desenvolvida do circuito de leitura*

## 4.3 Microcontrolador

A programação do microcontrolador foi desenvolvida utilizando o IDE fornecido pela *Arduino*. O código desenvolvido pode ser dividido em 3 segmentos principais: configuração do controlador, aquisição dos dados referentes aos toques e por fim a conversão das tramas recebidas em formato adequado a ser enviado para o computador via porta série.



#### 4.3.1 Configuração do MTCH6301

No que concerne à configuração do *MTCH6301*, esta é feita enviando um conjunto de tramas, com um formato predefinido apresentado no *datasheet*. Neste processo, foi necessário definir o numero de ligações e configurar todos pinos de entrada *RX* e *TX*, onde são ligadas as linhas e as colunas da matriz, de forma ao controlador conseguir associar à sua posição de memória respetiva (Figura 41).

```
//Comando: RX Channels                                     //Comando: TX Channels

Wire.beginTransaction(ADRESS);                             Wire.beginTransaction(ADRESS);
Wire.write(0x55);                                         Wire.write(0x55);
Wire.write(0x04);                                         Wire.write(0x04);
Wire.write(0x15);                                         Wire.write(0x15);
Wire.write(0x00);                                         Wire.write(0x00);
Wire.write(0x01);                                         Wire.write(0x02);
Wire.write(13);                                           Wire.write(18);
Wire.endTransmission();                                   Wire.endTransmission();
```

Figura 41 - Configuração do numero de RX e TX ativas

A figura 42 mostra um de 31 comandos idênticos (18 linhas mais 13 colunas) que apresentam a atribuição do valor do pino respetivo. Esta distribuição do *Pin Map* é fornecida no *datasheet* do controlador. Os 3 primeiros bytes enviados, são referentes ao protocolo da comunicação e identificação do comando. Os últimos 3 bytes, representam a identificação de *RX/TX* 0x01 ou 0x02 respetivamente, identificação do numero do barramento *TXn* ou *RXn* e o ultimo byte o numero do pino do controlador que para o exemplo é 6.

```
//Comando: TX Pin Map Array - TX1

Wire.beginTransaction(ADRESS);
Wire.write(0x55);
Wire.write(0x04);
Wire.write(0x15);
Wire.write(0x02);
Wire.write(0x01);
Wire.write(6);
Wire.endTransmission();
```

Figura 42 - Associação de um pino ao registo TX1

Foi também necessário informar a orientação do sensor relativamente às coordenadas recebidas (Figura 43) bem como habilitar o toque apenas, não utilizando a funcionalidade de deteção de gestos (Figura 44).

```

//Flip State: Swap = 1, TX Flip = 0, RX Flip = 0
//Comando: Flip State

Wire.beginTransaction(ADDRESS);
Wire.write(0x55);
Wire.write(0x04);
Wire.write(0x15);
Wire.write(0x30);
Wire.write(0x00);
Wire.write(B100);
Wire.endTransmission();

```

*Figura 43 - Configuração da orientação do sensor*

```

//Comando: Activate touch

Wire.beginTransaction(ADDRESS);
Wire.write(0x55);
Wire.write(0x01);
Wire.write(0x00);
Wire.endTransmission();

```

*Figura 44 - Configuração do modo de operação do MTCH6301*

Estabeleceu-se como 4 o número máximo de toques em simultâneo a detetar atendendo ao facto de a aplicação ser monitorização de animais (Figura 45). De referir, que o comando faz com que o controlador apenas envie informações sobre número de toques desejado, mas continua a processar os 10 toques para os quais está habilitado.

```

//Touch Supression = 6
//Comando: Touch Supression

Wire.beginTransaction(ADDRESS);
Wire.write(0x55);
Wire.write(0x04);
Wire.write(0x15);
Wire.write(0x30);
Wire.write(0x07);
Wire.write(4);
Wire.endTransmission();

```

*Figura 45 - Configuração para a deteção de 4 toques em simultâneo*

### 4.3.2 Leitura do toque

De forma a clarificar a metodologia para a leitura do toque é necessário apresentar o comportamento do controlador aquando do evento. A figura 46 apresenta os 3 barramentos do controlador que são ligados ao controlador bem como ilustra uma trama exemplo de um toque. No momento do toque, o sinal INT do controlador, que está ligado a um pino do microcontrolador, passa de *low* a *high* e são enviados os dados referentes ao toque no barramento DATA, bit a bit à frequência dada por SCL.

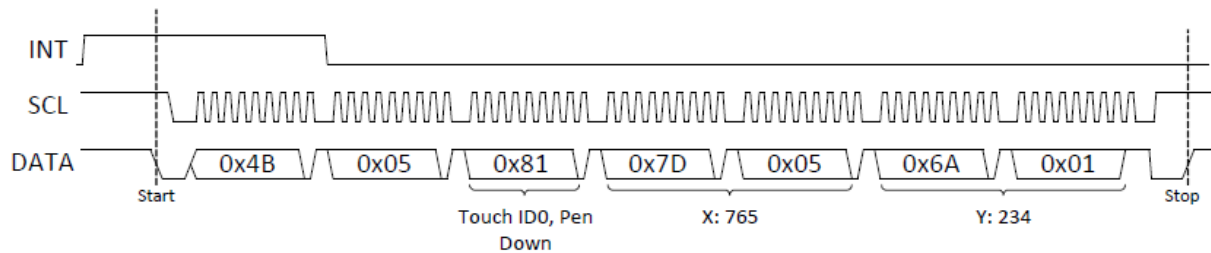


Figura 46 - Exemplo da trama do toque enviada pelo controlador [27]

A ligação entre o microcontrolador e MTCH6301 resume-se aos 3 barramentos apresentados anteriormente. Aquando do toque ocorre o evento de interrupção externa no microcontrolador, resultante do pulso ascendente do sinal INT. Desta forma é necessário definir o pino como entrada *pull up* bem como associar uma interrupção, designada no código como *READI2C* (figura 47).

```
pinMode(interruptPin, INPUT_PULLUP);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), READI2C, RISING);
```

Figura 47 - Configuração da interrupção externa do microcontrolador

A trama referente ao toque enviada pelo controlador, já apresentada na figura 35, apresenta um formato fixo de 7 bytes sendo que o primeiro apenas serve para endereçar o dispositivo na comunicação I2C. O segundo byte serve para validação da trama indicando o numero de bytes do pacote a enviar. O pacote é composto por 5 bytes sendo o primeiro referente a identificação do toque, e os restantes quatro a informação referente às coordenadas, dois para cada eixo. Assim sendo, a interrupção invoca a função associada *READI2C*, que solicita os 6 bytes correspondentes ao pacote do toque ao endereço *ADDRESS* do barramento I2C. Os 4 bytes correspondentes às coordenadas são guardados, convertidos no formato desejado e enviados via porta série para o computador (Figura 48).

```

void READI2C()
{

    if(READ_TOUCH == true)
    {
        Wire.requestFrom(ADRESS, 6);

        if (Wire.available ()<=6)
        {
            touch = Wire.read();
            tid = Wire.read();
            x_0 = Wire.read();
            x_1 = Wire.read();
            y_0 = Wire.read();
            y_1 = Wire.read();

        }

        Serial.print("X");
        format(x_0,x_1);
        Serial.print("Y");
        format(y_0,y_1);
        Serial.println();

    }
}

```

Figura 48 - Função de leitura do toque através da comunicação I2C

#### 4.3.3 Conversão da trama

Cada coordenada é indexada por 12 bits repartidos nos 2 bytes já referidos na apresentação do formato da trama. Assim sendo, cada eixo apresenta uma escala de 0 a 4096. O microcontrolador converte os valores referentes as coordenadas num formato simplificado de forma a facilitar a utilização dos dados permitindo tempo de processamento ao computador na representação gráfica (Figura 49).

```

void format (byte lsb,byte msb)
{
    if ((msb & 0x01) == 0x01)
    {
        lsb = lsb | 0x80;
        msb = msb >> 1;
    }
    else
    {
        msb = msb >> 1;
    }
    Serial.print(word(msb, lsb));
}

```

Figura 49 - Função de conversão da trama para envio para o computador

## 4.4 Aplicação gráfica

A interface gráfica foi desenvolvida recorrendo ao *software* QT Creator 3.6.0 que integra um IDE baseado na fusão das linguagens C++, JavaScript e QML.

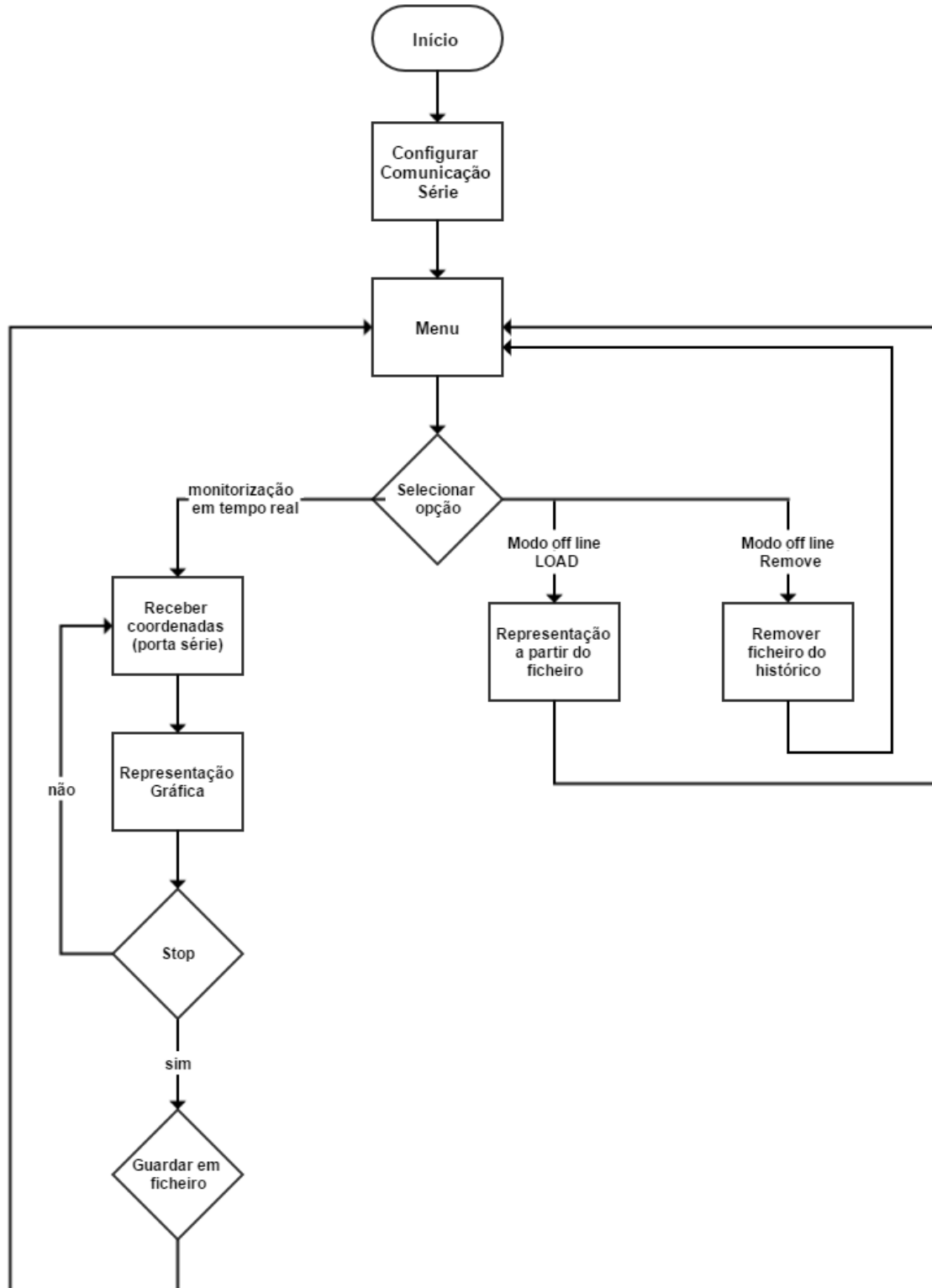


Figura 50 - Fluxograma das funcionalidades da aplicação gráfica

O programa desenvolvido permite ao utilizador solicitar a monitorização em tempo real bem como analisar ficheiros relativos a monitorizações previamente realizadas, guardadas em ficheiros de histórico (Figura 50). A interface possibilita também fazer a gestão desses mesmo ficheiros guardados acedendo ao explorador do *Windows* dentro da execução do programa.

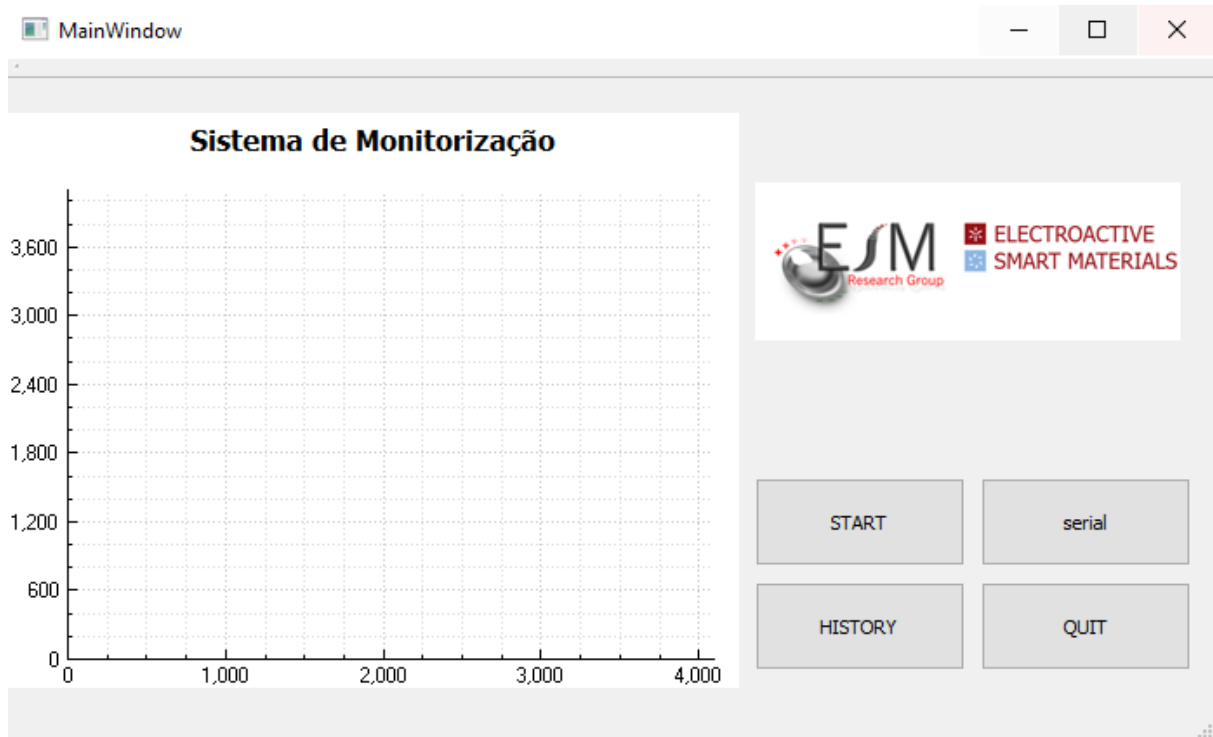


Figura 51 - Menu inicial da interface gráfica desenvolvida em QT Creator

No seguimento do fluxograma apresentado, no início da execução da aplicação é mostrado um menu com quatro botões (Figura 51). A opção START dá início à monitorização, apresentando no gráfico em tempo real a posição dos toques recebidos via porta série. Para aceder às funcionalidades em modo *offline*, foi introduzido o botão HISTORY, que permite ao utilizador reproduzir e remover ficheiros de monitorização anteriores. O botão serial abre uma nova janela, que permite ao utilizador configurar a porta série de forma a garantir o bom funcionamento da comunicação atendendo ao protocolo definido no microcontrolador (Figura 52).

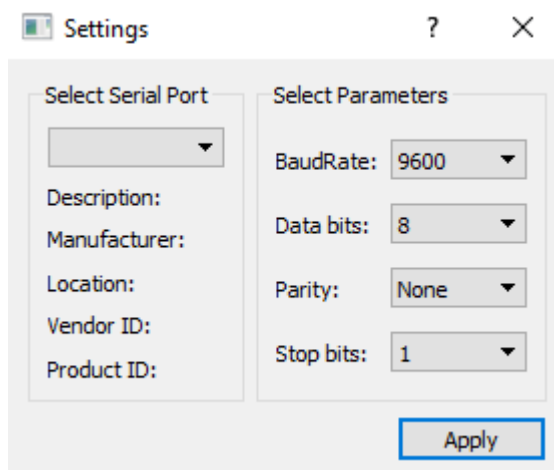


Figura 52 - Menu de configuração da porta série

#### 4.4.1 Monitorização em tempo real

Iniciando a monitorização em tempo real, a aplicação inicia a representação gráfica dos valores recebidos pela porta série e altera as opções do menu. O utilizador é responsável por parar a aquisição através do botão STOP e, caso pretenda, guardar os dados utilizando a opção SAVE (Figura 53).

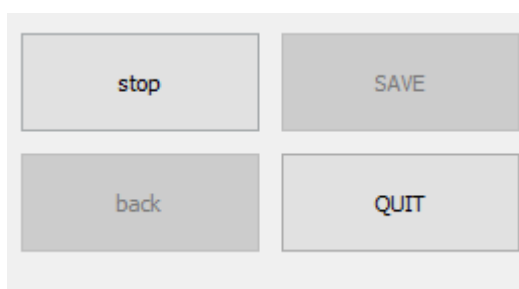


Figura 53 - Submenu no modo de monitorização em tempo real

No que concerne à abordagem de implementação desta funcionalidade, a primeira etapa é a inicialização do ficheiro de texto, onde serão guardados os ficheiros recebidos porta série. Sempre que se dá a execução de uma monitorização os dados são sempre escritos num ficheiro nomeado *defeito.txt*, que no final poderá ser renomeado caso o utilizador pretenda manter em histórico recorrendo à opção SAVE. Juntamente com o valor das coordenadas, é escrito a hora exata do evento de forma a poder fazer uma interpretação rigorosa posteriormente (Figuras 54 e 55).

```

135     file->open(QIODevice::ReadWrite);
136
137     out << "X" << QString::number(x, 10) << "Y" << QString::number(y, 10);
138     out << QTime::currentTime().toString() << endl;
139

```

Figura 54 – Função para escrita em ficheiro

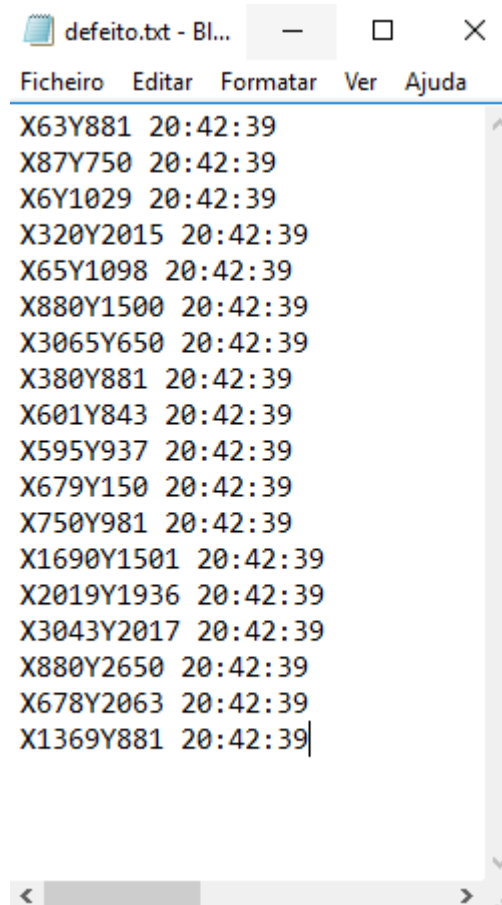


Figura 55 - Exemplo de ficheiro criado no processo de monitorização

Cada coordenada de toque recebido via porta série é constituída por 6 bytes que são alocados na memória do programa em forma de *string*. Para a representação gráfica das posições do toque, são lidos os valores gravados na *string* e passados para o gráfico com a função *replot()* (Figura 56).

```

61     sscanf(nome.data(), "%*c%d%*c%d", &x, &y);
62
63     ui->grafico->graph(0)->clearData();
64     ui->grafico->graph(0)->addData(x, y);
65     ui->grafico->replot();

```

Figura 56 - Código de representação gráfica das coordenadas



#### 4.4.2 Modo *offline*

Neste modo de operação, o programa permite ao utilizador aceder aos ficheiros guardados em histórico, abrindo a pasta do explorador do *Windows* referente ao arquivo. Assim, o ficheiro é aberto em modo de leitura e são armazenados os valores das coordenadas na memória do computador e posteriormente apresentadas no gráfico (Figura 57).

```
303 QString fileName = QFileDialog::getOpenFileName(this, tr("Open File"), "%C\\");
304 QFile inputfile(fileName);
305 inputfile.open(QIODevice::ReadOnly);
306
307 while(!in.atEnd()){
308 data=in.readLine();
309 QByteArray dataf (data.toStdString().c_str());
310
311 sscanf(dataf, "%*c%d%*c%d", &x, &y);
312
313 ui->grafico->graph(0)->clearData();
314 ui->grafico->graph(0)->addData(x,y);
315
316 ui->grafico->replot();
317
318 update();
```

Figura 57 - Excerto de código correspondente à reprodução através do ficheiro

## 5. TESTES E RESULTADOS

### 5.1 Caracterização das matrizes

De forma a fazer uma caracterização das matrizes impressas, realizou-se um teste de resistência elétrica das suas pistas. Para cada um dos dois diferentes layouts, efetuaram-se medições em 4 amostras apenas para as pistas horizontais, uma vez que são as que apresentam maior comprimento e consequentemente apresentam os maiores valores de resistência.

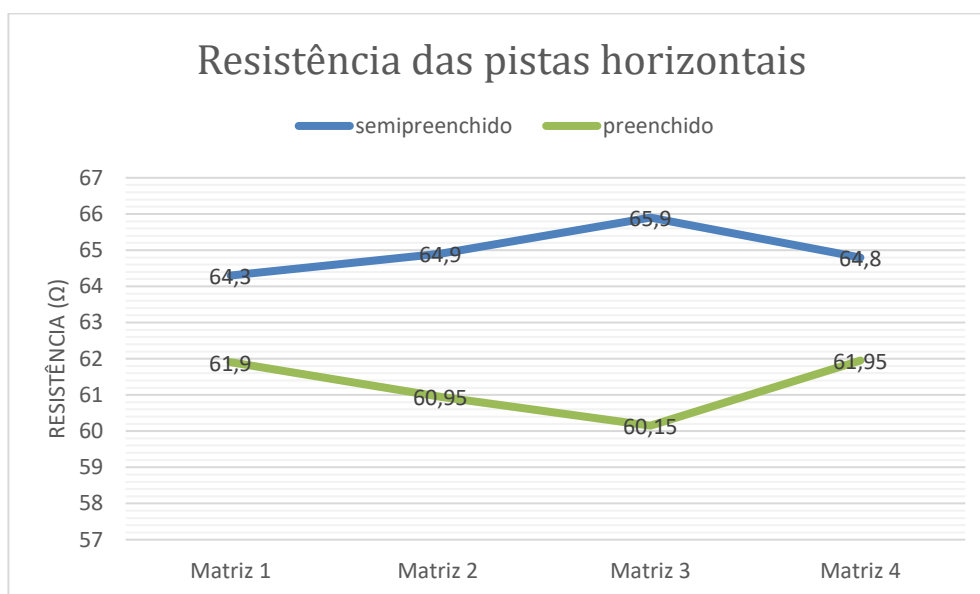


Figura 58 - Gráfico representativo dos resultados das medições de resistência das pistas horizontais das duas matrizes

Os resultados obtidos, representados pelo gráfico da figura 58, indicam que a matriz de com elétrodos preenchidos apresentam valores de resistência mais baixos em relação à de semipreenchidos. O resultado acabou por ir de encontro ao esperado dado que, tendo as pistas a mesma dimensão, a resistência irá ser menor quanto maior for a área condutora.

### 5.2 Teste do Sistema

Desenvolvidos todos os segmentos constituintes do sistema proposto, procedeu-se a montagem de forma a inicializar os testes. Nesta fase, começou por utilizar-se a geometria de elétrodos preenchidos, ligando a mesma à PCB do controlador após a aplicação de *stiffener* nos conetores (Figura 59).

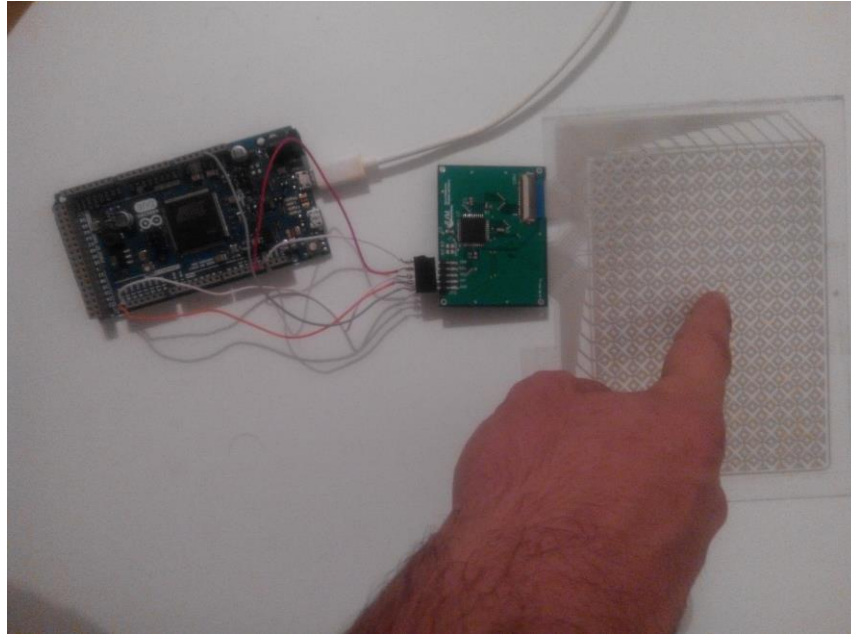


Figura 59 - Teste da matriz de eléttodos semipreenchidos com toque único fixo

De forma a simplificar o processo de teste programou-se o controlador para a deteção de apenas um toque por ciclo. O procedimento passou por executar a aplicaçãõ gráficã e iniciar e o modo de monitorizaçãõ em tempo real. No fim, guardou-se os dados no ficheiro de texto utilizando a opçãõ do menu da aplicaçãõ. No primeiro teste manteve-se o contato com a superfície sempre na mesma posiçãõ aproximadamente no centro da matriz.

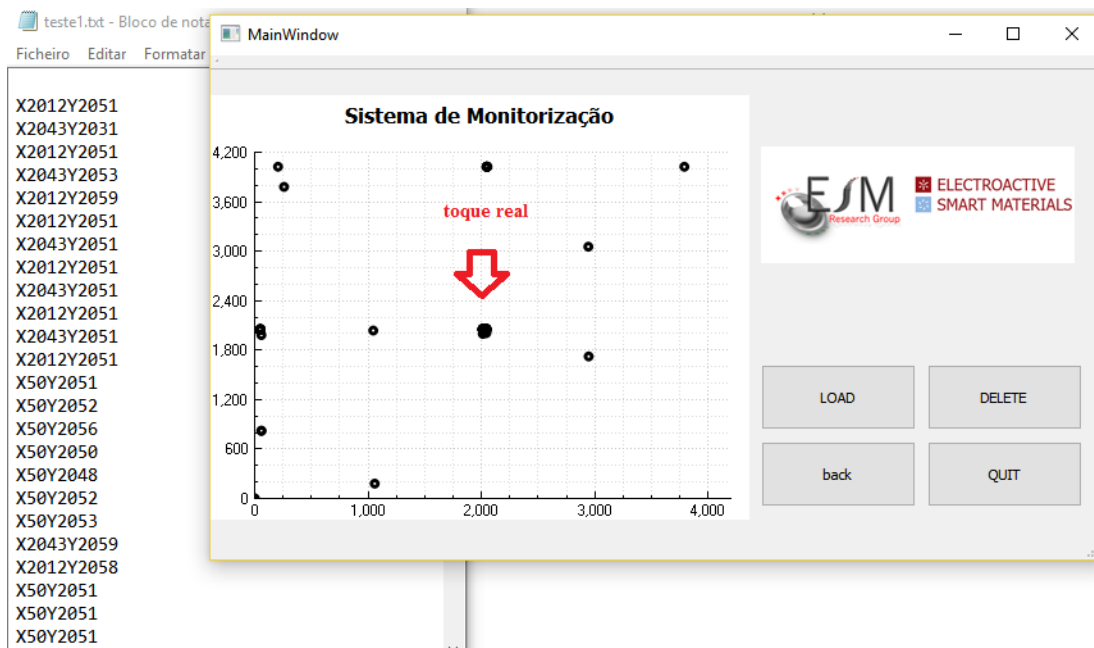
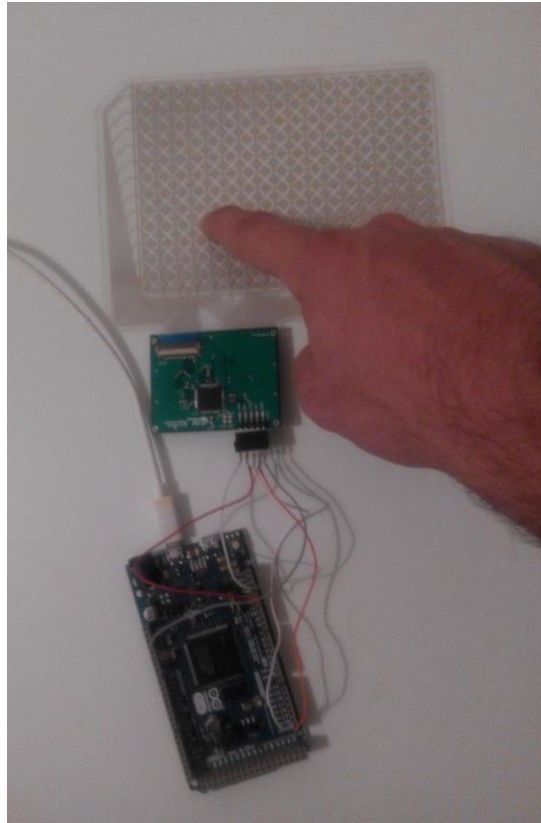


Figura 60 - Resultado representado na interface gráficã do teste com a matriz preenchida com toque no centro da matriz

Analisando o resultado a aplicação gráfica bem como o ficheiro de texto em que constam todas as amostras de toque recolhidas, verifica-se que além da posição do toque real são recebidas coordenadas referentes a toques inexistentes. Durante este teste, foram recebidas 72 coordenadas, em que 17 referem toques inexistentes (figura 60).



*Figura 61 - Teste da matriz de elérodos preenchidos*

De seguida, repetiu-se o procedimento utilizando a matriz de elérodos preenchidos dado que o problema poderia estar ligado a sensibilidade da matriz e ser esta a razão do aparecimento de toques inexistentes nos resultados (Figura 61).

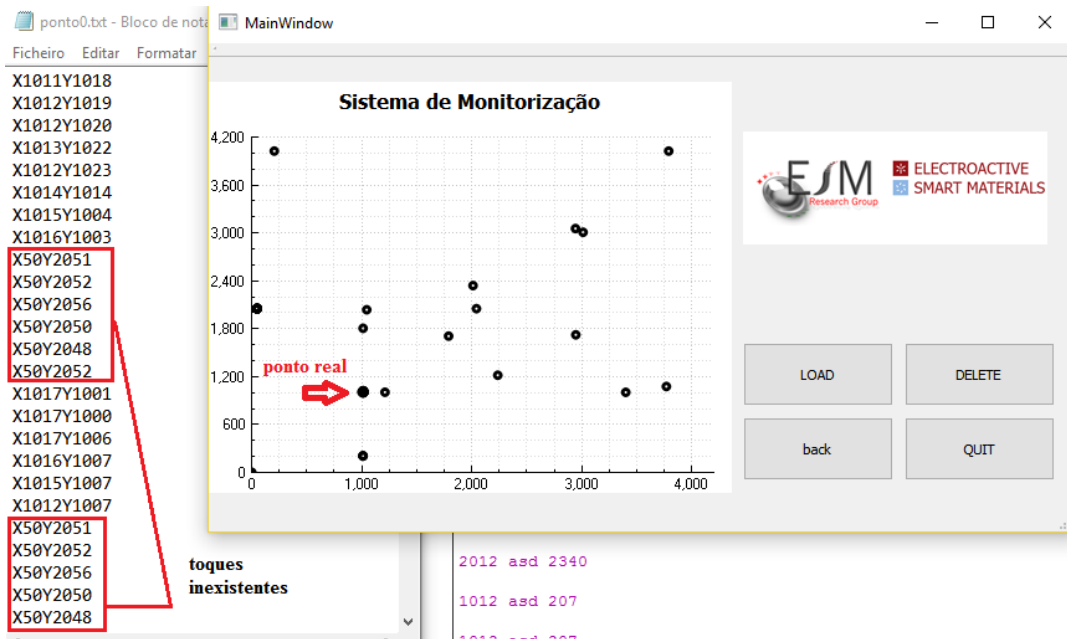


Figura 62 – Resultado representado na interface gráfica do teste com a matriz de elétrodos preenchidos

O resultado obtido foi idêntico ao anterior, não evitando o aparecimento de toques inexistentes. Como se pode observar na figura 62, os toques inexistentes assinalados apenas apresentam incoerências no eixo dos xx sendo o que indicou que o problema não estivesse ligado na sensibilidade, mas sim no contato.

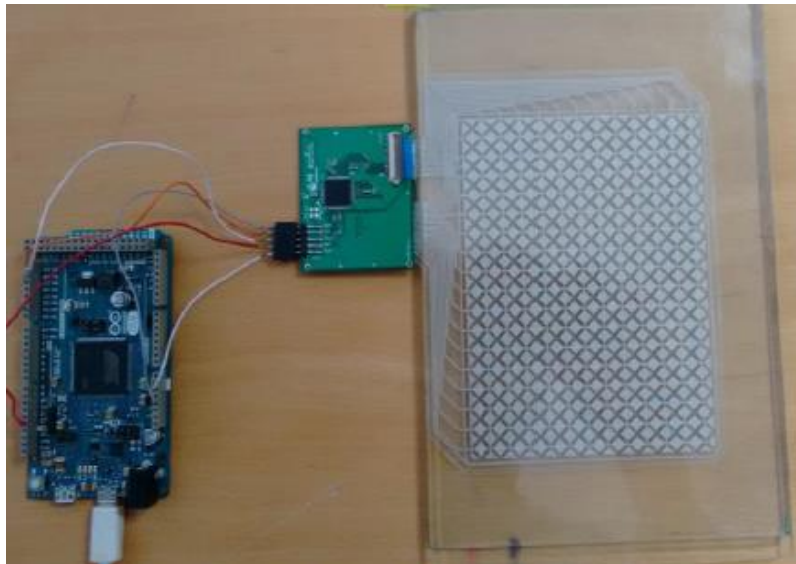


Figura 63 - Montagem do sistema total para teste utilizando placas de vidro

Ainda assim, de forma a dissipar as dúvidas utilizaram-se duas placas de vidro no teste de forma a reduzir interferências externas e consequentemente obter resultados reais, sem aparecimento de toques falsos (Figura 63).

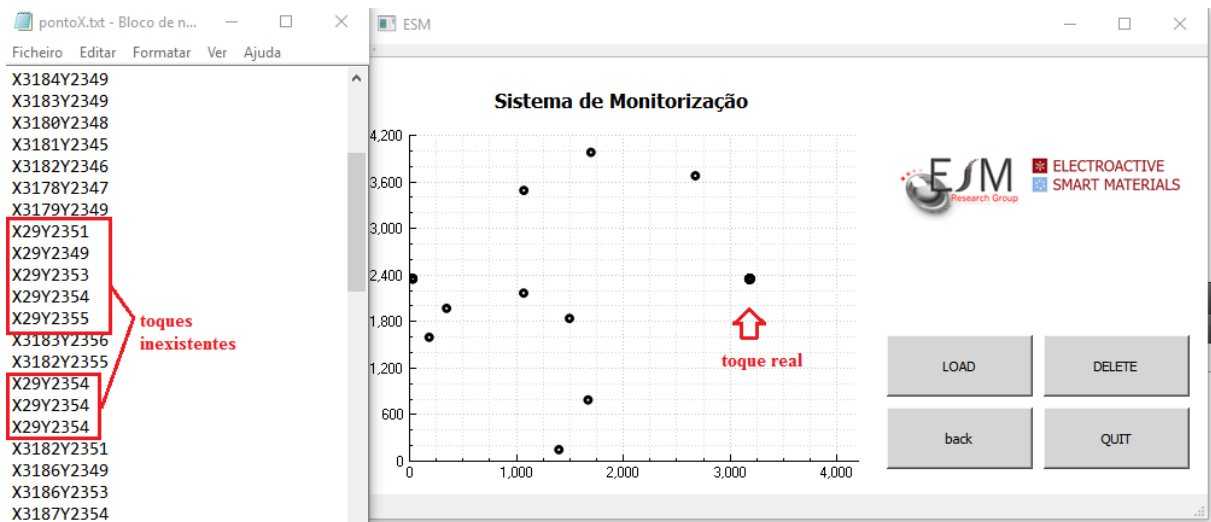


Figura 64 - Resultado representado na interface gráfica do teste da matriz entre placas de vidro

O problema não foi resolvido, sendo que o resultado obtido coerente com os resultados dos dois testes anteriores. Mais do que isso, além do aparecimento de toques inexistentes em posições aparentemente aleatórias, verificou-se novamente valores de coordenadas incoerentes com a realidade apenas num eixo, como assinalado na figura 64.

Com os 3 resultados obtidos nos testes anteriores foi possível verificar que a origem do problema estava no contato pelo que se realizou um último teste recorrendo à matriz de elétrodos semipreenchidos sem as placas de vidro.

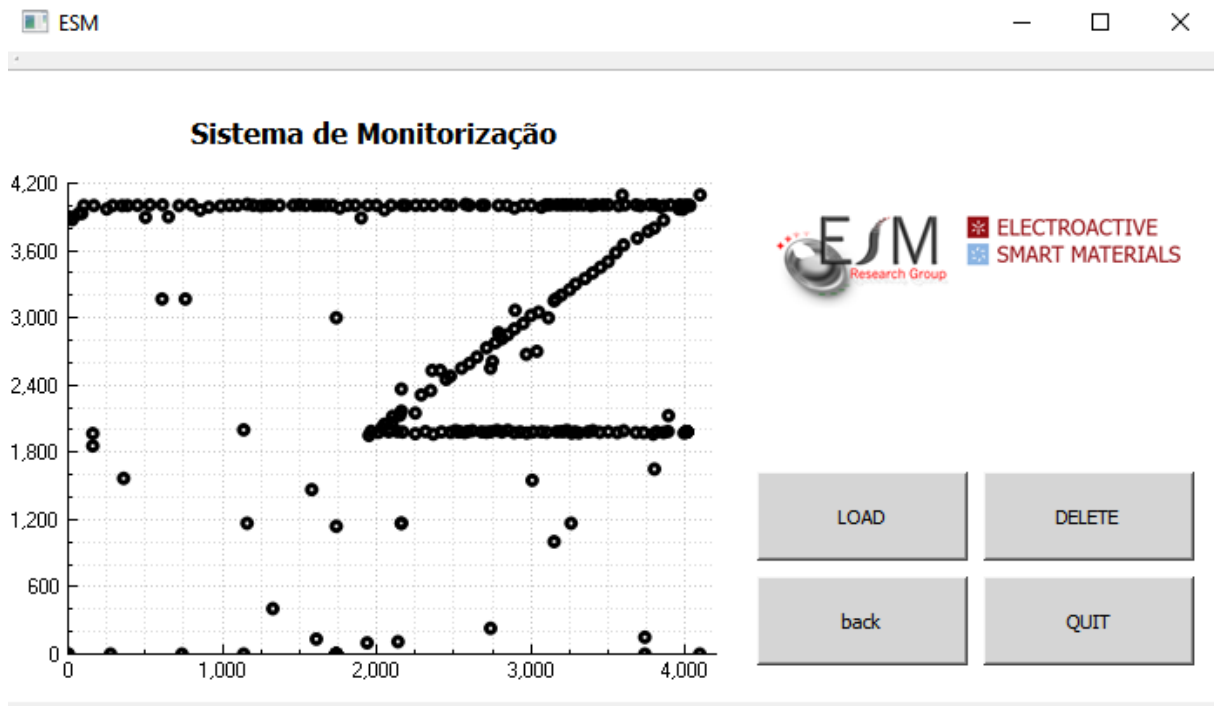


Figura 65 - Resultado representado na interface gráfica do teste de movimento

Neste teste, deslocou-se o dedo pela superfície, descrevendo um percurso semelhante a um “Z”. Nos resultados obtidos é facilmente perceptível a trajetória descrita ainda que o problema da existência de valores aleatórios manteve-se permanente (Figura 65).

## 6. CONCLUSÕES

Atendendo ao principal objetivo predefinido, o desenvolvimento de um sistema de monitorização de animais com recurso a sensores impressos capacitivos, o trabalho realizado ainda requer mais iterações nos contactos à matriz, antes de ser possível construir uma aplicação viável. O trabalho é bastante conclusivo quanto ao problema, e o que há a resolver, tendo em conta os resultados obtidos.

A realização deste trabalho abrangeu as várias etapas do desenvolvimento do sistema proposto, desde o desenvolvimento do sensor e do seu circuito de leitura até ao sistema de aquisição e representação gráfica.

O primeiro objetivo desta dissertação passava pelo desenvolvimento de um sensor de toque capacitivo recorrendo a tecnologias de impressão. Este objetivo foi cumprido uma vez que foram desenhados e impressos quatro tipos de matrizes, utilizando a tecnologia de *screen printing*. As rondas de impressão realizadas resultaram na conceção de dois *layouts* de matrizes 18x13 e dois *layouts* 27x19.

No que concerne ao desenvolvimento do *hardware* necessário para a leitura dos sensores, os resultados obtidos comprovam que este poderia ser melhorado. Apesar do circuito de leitura ter sido idealizado e implementado corretamente, os testes realizados ao sistema de deteção de toque apresentaram toques inexistentes causados por mau contato entre o conector e a matriz. Este acontecimento inviabilizou a realização de testes do sistema total na aplicação a que se propôs, isto é, a monitorização de animais.

O terceiro objetivo, que passava pelo desenvolvimento do sistema de aquisição e processamento, foi cumprido sem contratempos tendo este sido capaz de comunicar com o controlador *MTCH6301* via I2C e com o computador por comunicação série.

Por fim, foi desenvolvida uma interface gráfica habilitada a mostrar em tempo real a informação enviada pelo microcontrolador e capaz de facultar ao utilizador a opção de gravar e reproduzir dados recolhidos anteriormente.

Fazendo uma reflexão crítica, pode dizer-se que a abordagem para a ligação entre a matriz e a PCB de leitura, a utilização de conectores FFC/FPC, não é a mais adequada para o caso, dado que a superfície de toque é flexível, o que se traduz em instabilidade no contato elétrico. Ainda assim, corrigindo o pormenor dos conectores, a solução que este trabalho de dissertação propõe apresenta-se como uma alternativa interessante, exequível e mais barata, relativamente a produtos com o mesmo propósito existentes no mercado.



## 7. TRABALHO FUTURO

Concluído o trabalho e apesar de a maioria dos objetivos terem sido cumpridos, existe um conjunto de aspetos a corrigir e a melhorar de forma a poder concretizar na íntegra o desafio a que a dissertação se propôs.

O aspeto crítico a corrigir seria a ligação entre o circuito de leitura e a matriz de forma a torna-la mais robusta e estável quer do ponto de vista físico e elétrico. Uma solução poderia passar pelo desenvolvimento de uma PCB flexível, que seria colada permanentemente à matriz e ligada aos conetores FFC/FPC.

Considerando a aplicação final, seria também interessante a utilização das matrizes de 27x19, de forma a permitir cobrir uma área maior.

Atendendo à gestão de recursos e aos custos associados, seria vantajoso a utilização de outro microcontrolador no sistema de aquisição. A solução ideal passaria pelo desenvolvimento de uma placa própria para o sistema de aquisição já preparada para a ligação com o sistema de leitura de forma a evitar ruído e interferências resultantes de ligações mais artesanais.

No que concerne a aplicação gráfica, desenvolvida para interface com o utilizador, seria interessante torna-la mais versátil e permitir um maior acesso ao utilizador à sua programação.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Kolokowsky and T. Davis, "Touchscreens 101: Understanding Touchscreen Technology and Design," *Cypress*, no. June 2009, pp. 1–5, 2009.
- [2] Eizo, "Basic Understanding of touch panels." .
- [3] R. Downs, "Using resistive touch screens for human/machine interface," *Analog Appl. Journal. sl Texas Instruments ...*, pp. 58–63, 2005.
- [4] Q. Zheng, "Touch Screen Sensor." 2012.
- [5] G. Walker, "A review of technologies for sensing contact location on the surface of a display," *J. Soc. Inf. Disp.*, vol. 20, no. 8, pp. 413–440, 2012.
- [6] T. S. Corporation, "Analog Resistive Touch Technology." [Online]. Available: <http://www.touchsystems.com/resources/analog-resistive-touch-technology/>. [Accessed: 12-Apr-2016].
- [7] J. Kent, M. Takeuchi, and G. Laux, "Robert Adler's touchscreen inventions," *Proc. - IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 9–20, 2007.
- [8] V. Soni, M. Patel, and R. S. Narde, "An Interactive Infrared Sensor Based Multi-Touch Panel," vol. 3, no. 3, 2013.
- [9] Blackbox-av, "Museum touch screen technology," 2013. [Online]. Available: <http://www.blackboxav.co.uk/museum-touchscreen-technology-whats-the-best>. [Accessed: 19-Mar-2016].
- [10] D. Marioli, E. Sardini, and A. Taroni, "Measurement of small capacitance variations," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 40, no. 2, pp. 426–428, 1991.
- [11] ADmetro, "Surface Capacitive Touch Screen Sensors." .
- [12] M. R. Bhalla and A. V. Bhalla, "Comparative Study of Various Touchscreen Technologies," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 6, no. 8, pp. 2–8, 2010.
- [13] Renesas, "Capacitive Touch Sensors System," *Second-Generation Capacitive Touch Technology*. .
- [14] H. Yeo, "Analysis and performance comparison of charge transfer circuits for capacitive sensing," *J. Next Gener. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 16–26, 2014.
- [15] "Design considerations for projected capacitive touch sensor technology," 2013.
- [16] J. Kiachian, "Designing Larger Touchscreens Is No Small Gesture," 2010. .
- [17] C. Brown, A. Kay, Y. Sugita, and K. Kida, "A Capacitive Touch Panel for Simultaneous Detection of Non-Conductive and Conductive Objects," pp. 891–894, 2015.
- [18] L. Lisky, "Multi-Touch - Part2: Filtering and Touch Detection," 2014. [Online].

- Available: <https://larrylisky.com/tag/capacitive/>. [Accessed: 14-Mar-2016].
- [19] I. Crosby, “Challenges facing widespread implementation of multi-touch technology,” 2013. [Online]. Available: <https://www.ecnmag.com/article/2013/05/challenges-facing-widespread-implementation-multi-touch-technology>. [Accessed: 10-Mar-2016].
- [20] W. Liu, R. Liu, P. Yu, L. Feng, and X. Guo, “Device/Circuit Mixed-Mode Simulations for Analysis and Design of Projected-Capacitive Touch Sensors,” *IEEE/OSA J. Disp. Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 204–208, 2015.
- [21] S. Ma *et al.*, “Fabrication of Novel Transparent Touch Sensing Device via Drop-on-Demand Inkjet Printing Technique,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no. 39, pp. 21628–21633, 2015.
- [22] E. P. Furlani, “Inkjet Systems.” [Online]. Available: [http://www.cbe.buffalo.edu/people/full\\_time/e\\_furlanires\\_Inkjet.php](http://www.cbe.buffalo.edu/people/full_time/e_furlanires_Inkjet.php). [Accessed: 12-Jun-2016].
- [23] J. M. M. Alves, “Sistema de leitura de uma matriz piezoresistive para próteses intelegientes,” Universidade do Minho, 2015.
- [24] A. Eshkeiti *et al.*, “Screen printed flexible capacitive pressure sensor,” *IEEE SENSORS 2014 Proc.*, pp. 1192–1195, 2014.
- [25] A. Hobby, “Screen Printing for the Industrial User,” 1997. [Online]. Available: [http://www.gwent.org/gem\\_screen\\_printing.html](http://www.gwent.org/gem_screen_printing.html). [Accessed: 03-Apr-2016].
- [26] P. Dietz and D. Leigh, “DiamondTouch: a multi-user touch technology,” *User Interface Softw. Technol.*, pp. 219–226, 2001.
- [27] Microchip, “MTCH6301 Projected Capacitive Touch Controller.” 2014.
- [28] Arduino, “Arduino Due,” *Arduino Products*. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>. [Accessed: 21-May-2016].
- [29] MITSUBISHI POLYESTER FILM, “Hostaphan GN Datasheet.”

