

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Eletrônica

Sistema de apoio ao diagnóstico de nódulos cancerígenos esofágicos subcutâneos com uso de análise térmica.

Autor: Diogo de Oliveira Costa
Orientador: Profa. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury
Rosa

Brasília, DF
2015



Diogo de Oliveira Costa

**Sistema de apoio ao diagnóstico de nódulos cancerígenos
esofágicos subcutâneos com uso de análise térmica.**

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia Eletrônica da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
Eletrônica.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Profa. Dra. Suévia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa
Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Jacques Miosso Rodrigues Mendes

Brasília, DF

2015

Diogo de Oliveira Costa

Sistema de apoio ao diagnóstico de nódulos cancerígenos esofágicos subcutâneos com uso de análise térmica./ Diogo de Oliveira Costa. – Brasília, DF, 2015-46 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Profa. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2015.

1. Câncer esofágico. 2. Biomaterial. I. Profa. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Sistema de apoio ao diagnóstico de nódulos cancerígenos esofágicos subcutâneos com uso de análise térmica.

CDU 02:141:005.6??

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Diogo de Oliveira Costa

TÍTULO: Sistema de apoio ao diagnóstico de nódulos cancerígenos esofágicos subcutâneos com uso de análise térmica.

GRAU / ANO: Bacharel / 2015

À Universidade de Brasília é permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Diogo de Oliveira Costa

Sistema de apoio ao diagnóstico de nódulos cancerígenos esofágicos subcutâneos com uso de análise térmica.

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 03/07/2015 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

**Profa. Dra. Suélia de Siqueira
Rodrigues Fleury Rosa**
Orientador

**Prof. Dr. Cristiano Jacques Miosso
Rodrigues Mendes**
Coorientador

Prof. Dr. Adson Ferreira da Rocha
Membro Convidado

Enga. Mileny Ximenes Oliveira
Membro Convidado

Prof. Dra. Luciana Peixoto
Membro Convidado

Brasília, DF
2015

*Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos
por sempre estarem ao meu lado me dando apoio sempre que preciso.
E à memória de todos que já passaram por esta vida e que de alguma
forma contribuíram em minha vida e que de algum lugar ainda vigiam meus passos.*

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus. Pois sem ele nada disso seria possível ou teria sentido. Sempre nas dificuldades é ele que me dá forças para poder me reerguer e enxergar uma luz no fim do túnel. E a cada dia, eu sinto que não vim ao mundo pra ser apenas mais um, e sim para fazer a diferença. E é Deus que me faz ter a certeza que escolhi a minha profissão com sabedoria e assim continuarei a usá-la pelo resto da minha vida.

Quero agradecer à minha família, à minha Mãe, ao meu Pai e aos meus dois irmãos, que me ajudaram a formar o terceiro Engenheiro de três filhos, vindos de escolas públicas e de um lar com muitas dificuldades, inclusive financeiras.

Aos meus amigos, que junto à minha família, foram âncoras nas horas difíceis. Agradeço a todos eles que aguentam meus defeitos, e me fazem ser uma pessoa melhor a cada dia. Em especial alguns “caras”, que mais do que companheiros de estudos e companheiros de profissão são como irmãos pra mim; Amaral, Alexandre, Jota Ká, Percy, Pierobon, Ribas e Victão. E um agradecimento especial para a Isabela Araujo pela bela revisão textual. Não são somente estes, graças a Deus, amigos verdadeiros ao meu redor não faltam e todos sempre estão na minha lembrança.

Aos companheiros de serviço, técnicos de laboratório da UnB, que sempre estão à disposição para ajudar; Beбето, Danilo, Davi, Henrique, Jackson, Micael e Vanderlan.

Aos meus mestres, pois sem alguns deles nada disso teria sido possível. Alguns tiveram uma dimensão maior na minha vida, tanto profissional como pessoal. Primeiramente à professora Suélia, minha orientadora, que há tantos anos me “suporta” e quem tenho como uma segunda mãe. Em seguida, professores a quem eu me espelho que juntos com ela são meus ideais do que é ser professor, professor Adson e professor Cristiano.

Aos membros da banca de avaliação que dedicaram tempo para ler, comentar e ajudar na conclusão deste trabalho; Professora Adson, engenheira Mileny, professora Luciana, além dos meus orientadores. Além destes, há uma pessoa que também deveria estar presente, mas por outros motivos não pode comparecer e teve contribuição na minha formação, muito obrigado Mestre Jaqueline Ribeiro.

Há uma pessoa que nesses últimos meses vem sendo muito especial na minha vida, minha namorada Mayumi, que tem me trazido um amparo tão sublime que não é possível ser descrito em palavras.

Aos demais que não tiveram os nomes citados aqui, saibam que um abraço, um sorriso, uma mão... pequenos gestos são pra mim as maiores provas de verdadeiras amizades.

*"Eu vou procurar, sei que vou encontrar,
Eu vou procurar, você não bota uma fé, mas eu vou atrás
Da minha Fórmula Mágica Da Paz."
(Racionais MC's, Fórmula mágica da paz)*

Resumo

O esôfago é o órgão responsável por conduzir o alimento da cavidade oral até o estômago e a maioria das moléstias que afligem esse órgão é assintomática tendo com um dos poucos sintomas a perda de apetite, mas, geralmente, em estado avançado de afecção. Desta forma, o desenvolvimento de instrumentos que viabilizam ou facilitam um diagnóstico precoce são de alta importância. A carcinogênese esofágica geralmente é diagnosticada via endoscopia superior, onde o especialista visualiza uma alteração na estrutura superficial do órgão e indica exames complementares. Dentro desses exames, há patológicos por biópsia e exames que por instrumentos é verificado se o comportamento biológico está alterado perante sinais ditos normais. Porém, esses instrumentos que verificam essas alterações no corpo do órgão são semirrígidos, desta forma, não encostam nas paredes esofágicas ou tem a sua área de contato irregular, assim podendo gerar um diagnóstico inverídico. Por isso, foi desenvolvido um cateter feito de látex, biomaterial que vem sendo utilizado na medicina, que funciona como um balão que é inserido vazio e somente após o seu devido posicionamento, é inflado até encostar nas paredes esofágicas. Nesse cateter são embarcados os sensores de temperatura que obtêm uma leitura real das temperaturas ao longo da superfície do órgão e assim fazer um mapeamento térmico e o analisar. A análise realizada é um comparativo do gráfico do comportamento térmico obtido *in vitro* comparado com valores ditos normais. Com os resultados obtidos nesse trabalho foi desenvolvido um cateter instrumental usando tecnologia livre que pode ser inserido no Sistema Único de Saúde - SUS - aumentando o ferramental de diagnóstico ao grande número de pacientes atendido por ele.

Palavras-chave: Câncer Esofágico, Biomaterial, *Bio Feedback*, Látex, Sistema Único de Saúde, Instrumentação Biomédica.

Abstract

The esophagus is the organ responsible for conducting the food from the oral cavity to the stomach most of the diseases that afflict this body is asymptomatic having with one of the few symptoms loss of appetite, but usually at an advanced stage of disease. Thus, the development of tools that enable or facilitate early diagnosis are of high importance. The esophageal carcinogenesis is usually diagnosed via upper endoscopy, where the expert view a change in the surface of the body structure and indicates additional tests. Within these tests, there are pathological biopsy and tests that instrument is verified if the biological behavior is altered before said normal signals. However, these instruments that verify those changes in the organ of the body are semi-rigid, thus, do not touch the esophageal wall or has its irregular contact area, thus being able to generate an untrue diagnosis. Therefore, we developed a catheter made of latex, biomaterial that has been used in medicine, that works like a balloon that is inserted empty and only after its proper positioning, is inflated until it touches the esophageal wall. In this catheter are embedded temperature sensors that get a real reading temperatures along the body surface and so do a thermal mapping and analyzing. The analysis is a comparison of the thermal behavior of the graph obtained textit in vitro compared to so-called normal values. With the results obtained in this study was developed an instrumental catheter using free technology that can be inserted into the Unified Health System - SUS - increasing the diagnostic tools of the number of patients served by it.

Key-words: Esophageal cancer, Biomaterial, Bio Feedback, Latex, SUS, Biomedical Instrumentation.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Floresta de seringueiras em que pode-se ver os reservatórios onde é depositado o látex após se fazer pequenos cortes no tronco da árvore (1).	18
Figura 2 – Na fotografia tem-se a visão real do sensor onde: 1) Entrada de fonte; 2) Saída de tensão que é diretamente proporcional à temperatura; 3) GND do CI; A face indicada por 4 é a parte plana onde posteriormente será indicado para o posicionamento do sensor no molde, com uma área de $20mm^2$.	19
Figura 3 – Dimensões do sensor de temperatura LM35. Pode ser observado, que o sensor possui dimensões reduzidas, e facilitando alocar cerca de dez sensores em $100mm^2$, com os terminais em sua dimensão original.	20
Figura 4 – Visão das conexões internas do CI CD4066. Em detalhe, é possível observar os caminhos percorridos pelos sinais desde sua entrada, passando pelo controle, até a sua saída.	20
Figura 5 – Visão superior da plataforma de desenvolvimento BBB onde se observa todas as suas conexões tais como suas portas de entrada e saída de dados.	21
Figura 6 – Fluxograma do funcionamento do sistema. Observa-se o caminho percorrido pela informação até ser mostrada ao usuário.	22
Figura 7 – Disposição dos sensores de temperatura em formato matricial que possibilita a interpolação dos valores nos espaços não cobertos pelos sensores para viabilizar a confecção em forma cilíndrica.	23
Figura 8 – Vistas superior e lateral do molde para a confecção do cateter com os chanfros para o encaixe dos sensores.	24
Figura 9 – Descrição gráfica do fluxograma da confecção do cateter instrumental de látex.	25
Figura 10 – Molde em alumínio para a confecção do cateter onde pode-se ver os chanfros para a colocação dos sensores.	26
Figura 11 – Molde suspenso após banho de látex para retirada do excesso e iniciar a secagem em ambiente escuro sob temperatura ambiente em torno de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.	26
Figura 12 – Alinhamento dos sensores sobre o desenho com as dimensões exatas da matriz, $135\text{ mm} \times 94,23\text{ mm}$.	27
Figura 13 – Soldagem dos sensores no fios esmaltados.	27
Figura 14 – Alinhamento dos sensores sobre o desenho com as dimensões exatas da matriz.	28
Figura 15 – Aparência após o último banho de látex onde se vê a completa cobertura do material sobre o molde e os sensores.	29

Figura 16 – Resultado final do processo de confecção do cateter após retirado do molde.	29
Figura 17 – Circuito de chaveamento e multiplexação para uma linha de sensores da matriz <i>software</i> confeccionado a partir do <i>software</i> Proteus 7.8 SP2.	30
Figura 18 – Circuito de chaveamento completo com suas cinco linhas dando suporte para adquirir vinte sensores em quatro entradas analógicas desenhado no <i>software</i> Proteus 7.8 SP2.	30
Figura 19 – Disposição dos sensores de temperatura em formato matricial que possibilita a interpolação dos valores nos espaços não cobertos pelos sensores	31
Figura 20 – (a) Vista inferior da PCI gerada pelo <i>software</i> Proteus 7.8 SP2 (b) Vista superior da PCI gerada pelo <i>software</i> Proteus 7.8 SP2 com os respectivos nomes de cada componente em suas respectivas posições.	31
Figura 21 – (a) Vista inferior da PCI em fibra de vidro (b) Vista superior da PCI em fibra de vidro. Ambas feitas por técnica de deposição de toner por sublimação.	32
Figura 22 – Resultado final da construção da PCI de controle de chaveamento em sua vista superior (a) e vista inferior (b).	32
Figura 23 – Representação esquemática ratina de aquisição de dados percorrendo todas as suas etapas.	33
Figura 24 – Tela de saída do programa em <i>Python</i> após a aquisição de sinais gerados aleatoriamente nas entradas simulando variações de temperatura nos sensores.	34
Figura 25 – Primeiro protótipo feito em placa universal com a possibilidade de aquisição de doze sensores.	41
Figura 26 – Segundo protótipo feito em placa universal com a possibilidade de aquisição de quinze sensores dispostos em cinco linhas e três colunas.	42
Figura 27 – Protótipo da matriz de sensores onde estão dispostos de forma planar onde estão quinze sensores para serem usados no circuito do segundo protótipo da Fig. 26	42
Figura 28 – Teste de secagem do látex sobre vidro sob a ação de luz ultravioleta em temperatura ambiente.	43
Figura 29 – Teste de secagem do látex sobre o molde de náilon sob a ação de luz ultravioleta em temperatura ambiente.	44
Figura 30 – Teste da marcação dos sensores com esmalte fosforescente para posterior endereçamento.	44
Figura 31 – Teste de cobertura do sensores marcados com esmalte pelo látex.	45
Figura 32 – Tela de saída da plataforma BBB plotando um gráfico de decaimento exponencial.	45
Figura 33 – Molde de náilon usado para testes no início da pesquisa.	46

Lista de abreviaturas e siglas

EES	Esfíncter Esofágiano Superior
E EI	Esfíncter Esofágiano Inferior
SUS	Sistema Único de Saúde
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
BBB	<i>BeagleBone Black</i>
PCI	Placa de circuito impresso
CI	Circuito integrado
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>

Lista de símbolos

Ω	Ohms
V	Volts
A	Ampère
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
Hz	Hertz

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Motivação	15
1.1.1	O esôfago humano	15
1.1.2	Moléstias esofágicas	16
1.1.2.1	Esôfago de Barret	16
1.1.2.2	Câncer no esôfago	16
1.1.2.3	Fístulas esofágicas	16
1.1.2.4	Temperatura esofágica	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivo	17
2	Materiais	18
2.1	Biomaterial	18
2.1.1	Látex	18
2.2	Dispositivos eletrônicos	19
2.2.1	Sensor de temperatura LM35	19
2.2.2	Chave eletrônica CD4066	19
2.2.3	Processamento	21
3	Métodos	22
3.1	Sistema	22
3.2	O cateter	23
3.2.1	A matriz de sensores	23
3.2.2	Molde para confecção do cateter	23
4	Resultados	25
4.1	Confecção do cateter	25
4.2	Aquisição dos dados do cateter	28
4.2.1	O circuito	28
4.2.2	A aquisição dos dados	32
5	Discussões	35
5.1	Cateter	35
5.2	Aquisição dos dados	36
5.2.1	Escolha do sensor	36
5.2.2	Plataforma e sistema	37
5.2.2.1	Plataforma	37
5.2.2.2	Sistema de aquisição	37

Referências	39
Anexos	40
ANEXO A Fotografias	41

1 Introdução

1.1 Motivação

1.1.1 O esôfago humano

O esôfago é um tubo muscular contínuo que liga a boca ao estômago atravessando parte do tórax. O corpo esofágico possui cerca de 250 mm de comprimento, com a parte laríngea da faringe revestida por epitélio pavimentoso estratificado não queratinizado, consistindo em um músculo estriado no seu terço superior, um músculo liso no seu terço inferior, e uma mistura de músculo estriado e liso no terço médio. No esôfago as presenças do esfíncter esofágico superior - EES e do esfíncter esofágico inferior - EEI evitam respectivamente, a entrada de ar e dos conteúdos gástricos no esôfago. Este órgão possui um alto grau de vascularização linfática o que o torna muito sensível à variações térmicas (2) (3) (4).

O esôfago é subdividido em três partes:

- Esôfago cervical: É a parte superior correspondente à porção entre a laringe e a traqueia;
- Esôfago torácico: Corresponde à sua porção intermediária que atravessa a parte posterior esquerda do tórax;
- Esôfago abdominal: É a porção que se conecta ao estômago e tem cerca de 40 mm de comprimento (5).

Além de conectar a cavidade oral ao estômago, o esôfago é responsável pela continuação da deglutição iniciada na região oral, ou seja, pela condução do alimento. A deglutição pode ser iniciada voluntariamente, porém a seguir passa a estar quase que completamente sob o controle reflexo, o que torna independente da ação da gravidade o transporte de alimento. O reflexo de deglutição é uma sequência ordenada de eventos que impulsionam o alimento da boca ao estômago, inibem a respiração e previnem a penetração do alimento na traqueia durante a deglutição. Composto por um músculo interno circular e um externo longitudinal, desenhados de tal sorte para conduzir os alimentos sólidos e os líquidos da faringe para o estômago (6).

1.1.2 Moléstias esofágicas

1.1.2.1 Esôfago de Barret

O esôfago de Barret é a moléstia onde há a substituição de tecido escamoso que reveste o esôfago por um tecido glandular especializado, esta disfunção é uma das principais causas do adenocarcinoma esofágico (7). Esta disfunção evolui para quadros cancerígenos a partir de uma metaplasia intestinal que passa para uma displasia, até que se forma o adenocarcinoma.

1.1.2.2 Câncer no esôfago

Os tumores malignos têm um alto número de casos onde são irressecáveis, ou seja não pode ser completamente removido, fazendo com que os pacientes não consigam se alimentar corretamente, o que vai agravando ainda mais o seu quadro de saúde levando-os à óbito. Desta forma são buscados tratamentos paliativos, como a radioterapia, a escolha de qual tratamento deve sempre levar em consideração não só a melhoria clínica do paciente mas, também deve se levar em conta o bem estar do mesmo como com o reestabelecimento do paladar (8).

1.1.2.3 Fístulas esofágicas

As fístulas esofágicas são moléstias causadas pelo aumento da temperatura da parede esofágica. As fístulas são erupções que se assemelham bastante à bolhas que aparecem nos pés e nas mãos por excesso de fricção. Este, fora os quadros de carcinogênese, é um dos mais preocupantes devido ao alto índice de morbidade de pacientes. Esse índice de morbidade deve-se ao fato da parede esofágica ser fina, de forma que se a fístula for rompida à uma total abertura da parede esofágica, ocorre um quadro hemorrágico no paciente.

1.1.2.4 Temperatura esofágica

As carcinogêneses aumentam a vascularização no local da ferida, isso faz com que ocorra um aumento na temperatura local. Levando em consideração isso e em conjunto com a ocorrência das fístulas devido ao aumento da temperatura, pode-se inferir que a variação da temperatura esofágica esteja ligada diretamente com a saúde deste órgão.

1.2 Justificativa

Atualmente a literatura traz muitas formas de diagnósticos referentes ao esôfago. Quando se tratando de auxílio ao diagnóstico cancerígeno, a maioria dos exames são exames por imagem ou por ultrassonografia. Mas grande parte dos diagnósticos são feitos

tardamente pois o câncer esofágico é assintomático em seu início e quando existem sintomas eles são confundidos com outras problemáticas. Alguns tumores são descobertos de forma acidental quando o paciente está sendo submetido à um procedimento endoscópico ou radiológico (9).

Nos exames endoscópicos é possível verificar a textura e aspecto de toda a região esofágica, incluindo a região possivelmente afetada. O endoscopista verifica vários aspectos físicos do órgão e com sua perícia clínica consegue avaliar a saúde esofágica observando os seguintes aspectos: i) coloração, ii) rugosidade, iii) forma. Assim, se for encontrada alguma alteração nesses aspectos, o endoscopista indica exames complementares, como um via ultrassom com uma ponteira ultrassônica colocada no próprio endoscópio para validar o seu diagnóstico.

1.3 Objetivo

Uma forma de se mensurar anomalias esofágicas é por meio de uma sonda que é capaz de medir a temperatura intra-esofágica porém essa sonda é um dispositivo semir-rígido, o que torna o diagnóstico susceptível a erros de posicionamento ou até mesmo da topologia do órgão. Com a finalidade de auxiliar o endoscopista em seu diagnóstico foi pensado num dispositivo capaz de fazer medições da temperatura nas paredes esofágicas, esse dispositivo é um cateter de látex, que é um material biocompatível, que possui uma matriz de sensores. Esse cateter é inserido, esvaziado e podendo ser insuflado até encostar na parede interna do esôfago, sendo capaz de capturar toda a sua geometria irregular.

Esse dispositivo tem baixo custo de produção e seu tamanho faz com que seja portátil, essas características em conjunto com seu *software* escrito em linguagem livre, faz com que seja um equipamento de baixo custo final. Essas características também fazem com que esse dispositivo possa ser incorporado ao SUS devido ao baixo custo e a não necessidade de compra de *software* adicional.

2 Materiais

2.1 Biomaterial

Os biomateriais são definidos como materiais que podem ser implantados no corpo humano, portanto, esses não podem produzir substâncias nocivas. São materiais subdivididos em dois tipos: 1)biocompatíveis e 2)bioinertes. Os biocompatíveis são entendidos como aqueles que têm alguma interação com o corpo, já os bioinertes são os que têm total aceitação pelo corpo (10).

2.1.1 Látex

Para a construção do cateter foram feitos alguns estudos quanto ao fornecimento do látex. O látex natural é extraído da seringueira *Hevea brasiliensis* como é mostrado na Fig. 1, definiu-se então o fornecedor que atendia as características que conferem certas propriedades ao cateter como: alta biocompatibilidade, alta resistência, entre outras, além de ser um produto nacional, que faz com que o custo seja menor.



Figura 1 – Floresta de seringueiras em que pode-se ver os reservatórios onde é depositado o látex após se fazer pequenos cortes no tronco da árvore (1).

2.2 Dispositivos eletrônicos

2.2.1 Sensor de temperatura LM35

O LM35 é um circuito integrado com saída com uma tensão que varia linearmente proporcional à temperatura em graus centígrados mostrado na Fig. 2, esse dispositivo não necessita de calibração externa e tem uma acurácia de $\pm 0,5$ °C.



Figura 2 – Na fotografia tem-se a visão real do sensor onde: 1) Entrada de fonte; 2) Saída de tensão que é diretamente proporcional à temperatura; 3) GND do CI; A face indicada por 4 é a parte plana onde posteriormente será indicado para o posicionamento do sensor no molde, com uma área de 20mm^2

As dimensões desse dispositivos apresentados na Fig. 3 mostram que este tem um tamanho razoavelmente pequeno para esta aplicação, ou seja, pode-se colocar vários sensores em uma área diminuta o que possibilita o aumento da resolução das leituras. O range de temperatura está definido entre os valores de -55 °C até 150 °C, como a temperatura a ser medida é a do corpo humano, que gira em torno dos 37 °C, faz com juntamente com o baixo consumo em corrente, de 60 μA , seja uma escolha razoável para o sensor de temperatura deste projeto.

2.2.2 Chave eletrônica CD4066

O CD4066 é uma chave usada em sinais analógicos, esta tem o seu controle feito por modo analógico. Em um Circuito Integrado - CI existem quatro dessas chaves como mostrado na Fig. 4, este fato foi um dos determinantes para a escolha desse dispositivo, pois cada linha da matriz possui o mesmo número de chaves em um CI.

Este dispositivo pode ser alimentado com um range de tensão que varia entre 3 V e 15 V, sua resistência típica quando a chave está em modo ligado é de 5 Ω e tem uma

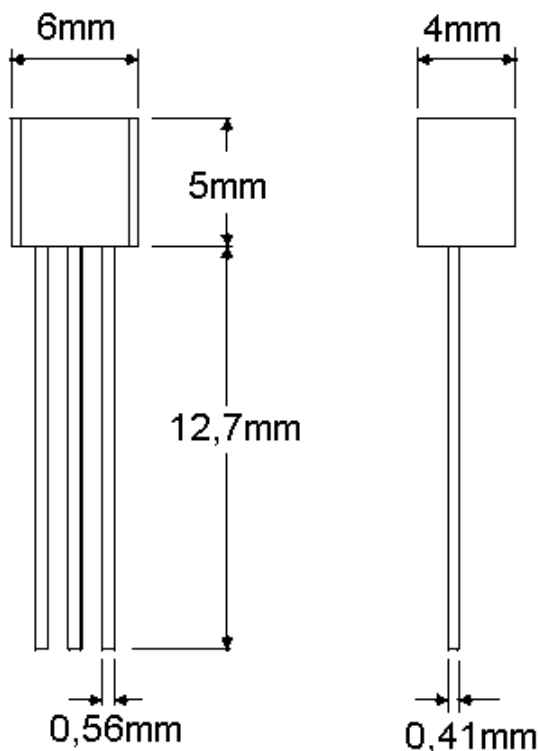


Figura 3 – Dimensões do sensor de temperatura LM35. Pode ser observado, que o sensor possui dimensões reduzidas, e facilitando alocar cerca de dez sensores em $100mm^2$, com os terminais em sua dimensão original.

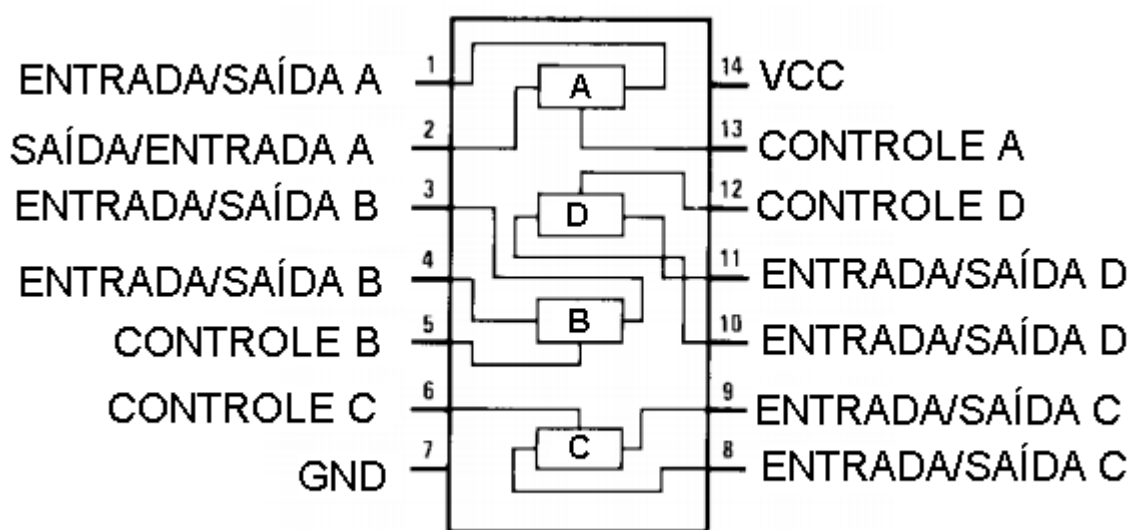


Figura 4 – Visão das conexões internas do CI CD4066. Em detalhe, é possível observar os caminhos percorridos pelos sinais desde sua entrada, passando pelo controle, até a sua saída.

frequência de resposta típica é de 40 MHz, esta velocidade de chaveamento é superior a ser usada neste trabalho, o que torna esse dispositivo uma boa escolha.

2.2.3 Processamento

Para o processamento dos dados foi escolhido a plataforma de desenvolvimento *BeagleBone Black* - BBB, mostrada na Fig. 5, que possui sete entradas analógicas, neste projeto serão necessárias apenas quatro. Esta plataforma suporta instalações de sistemas UNIX, no caso está instalado o sistema *Debian*, uma saída de vídeo *High-Definition Multimedia Interface* - HDMI para conectar um monitor para a visualização local dos dados e conexão de rede para enviar dados a outros dispositivos.

Essa escolha foi feita pelo fato do sistema UNIX ser livre e ainda dar suporte ao *Python* que é uma linguagem de programação, também livre, que será utilizada para fazer o tratamento dos dados localmente e os armazenar e enviar a um servidor.

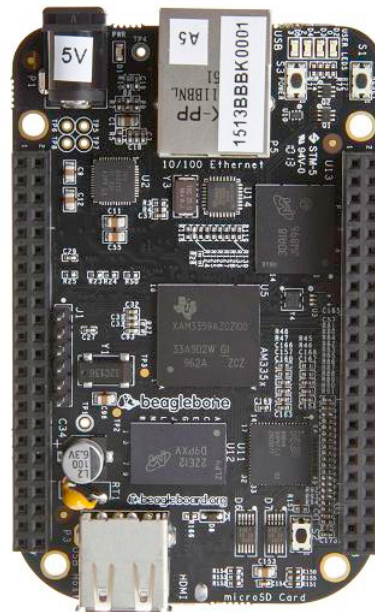


Figura 5 – Visão superior da plataforma de desenvolvimento BBB onde se observa todas as suas conexões tais como suas portas de entrada e saída de dados.

3 Métodos

3.1 Sistema

A construção do cateter instrumental parte da ideia de adquirir temperaturas esofágicas, por isso foi pensado num dispositivo que recebe sinal de sensores analógicos e faz seu processamento. O fluxograma mostrado na Figura 6. mostra o processo de aquisição dos sinais. Precisou-se pensar em uma forma de multiplexar as entradas analógicas do processador, pois essas têm seu número limitado em sete, por este motivo existe o passo de seleção da linha a ser lida. Somente depois de todos os sensores ser adquiridos, portanto a matriz está completa, que é gerado o gráfico no Python.

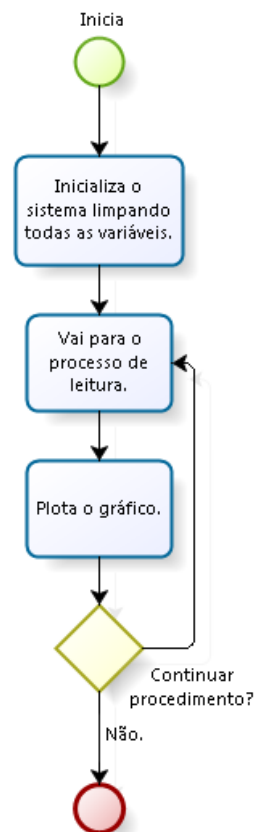


Figura 6 – Fluxograma do funcionamento do sistema. Observa-se o caminho percorrido pela informação até ser mostrada ao usuário.

3.2 O cateter

3.2.1 A matriz de sensores

Os sensores LM35 estarão dispostos em um formato matricial onde suas posições de linhas são equidistantes entre si e da mesma forma que suas colunas estão equidistantes entre si como mostrado na Figura 7. Esse formato permite construir uma grade de temperatura para possibilitar a construção de um gráfico de gradiente das temperaturas internas do órgão observado. A partir de uma interpolação delimitada pela leitura das temperaturas num quadrilátero específico. Esse formato permite a diminuição do número de sensores numa região, isso faz com que com uma melhor disposição dos sensores uma região maior pode ser coberta pelo sensoramento. Uma outra variável que ajudou nessa escolha foi o fato do órgão ter formato cilíndrico, de forma que se a matriz for fechada, encostando uma lateral na outra, possibilita a cobertura do tubo esofágico, além do que faz com que possa ser feita uma visão planar das temperaturas, que é mais instintiva ao usuário.

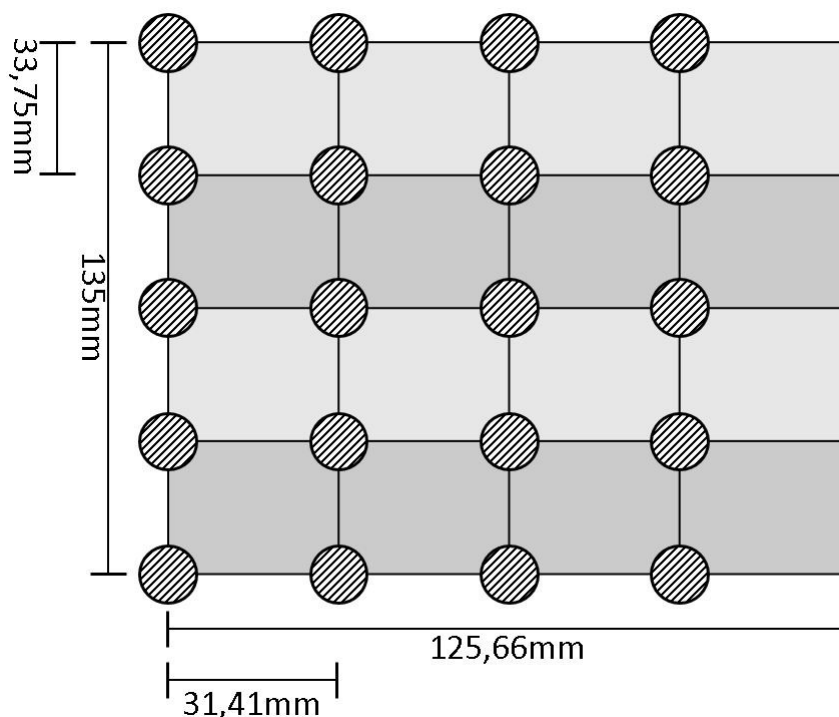


Figura 7 – Disposição dos sensores de temperatura em formato matricial que possibilita a interpolação dos valores nos espaços não cobertos pelos sensores para viabilizar a confecção em forma cilíndrica.

3.2.2 Molde para confecção do cateter

O molde no qual foi preparado o cateter foi construído em alumínio, num formato cilíndrico de 300 mm de comprimento e 25 mm de diâmetro com seis chanfros ao longo de

seu comprimento e com a ponta esférica de modo a evitar que o material fique grudado no momento de sua retirada. Os chanfros têm profundidade de 5mm e largura de 6 mm que possibilita a inserção dos sensores nessas cavidades e alinhá-los conforme for escolhido. Estas informações podem ser vistas na Fig.8 onde se tem as vistas deste molde.

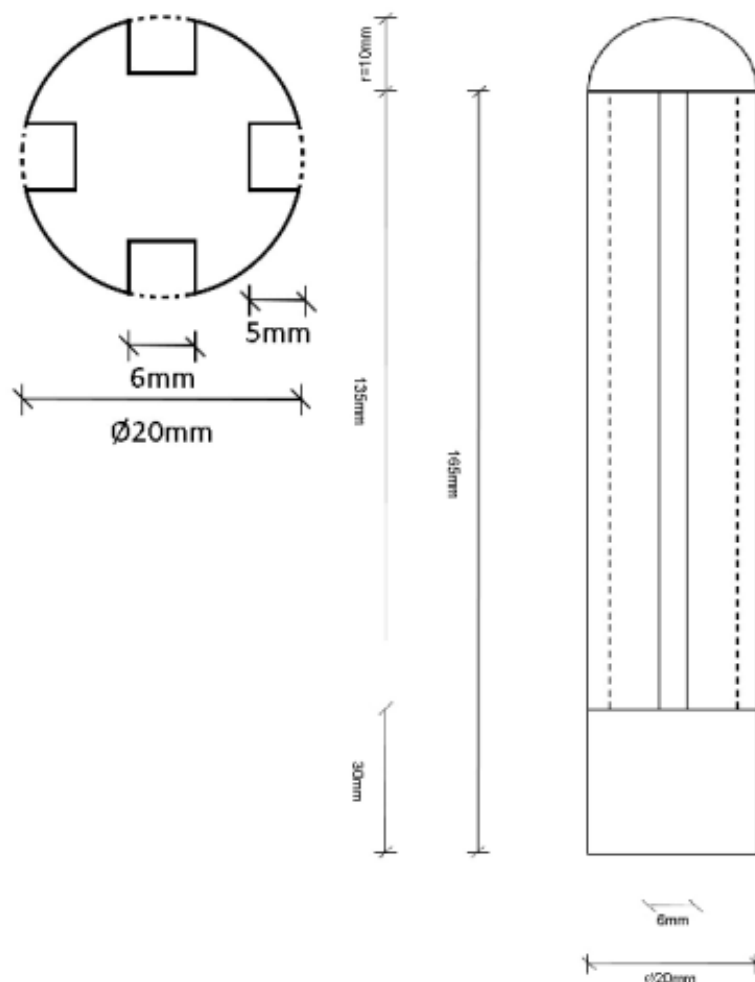


Figura 8 – Vistas superior e lateral do molde para a confecção do cateter com os chanfros para o encaixe dos sensores.

4 Resultados

4.1 Confeção do cateter

A confeção do cateter segue alguns passos que serão descritos nessa secção, o fluxograma que aparece na Fig. 9 descreve o caminho a ser percorrido até o fim do preparo e logo a seguir está a descrição de cada etapa desse trabalho.

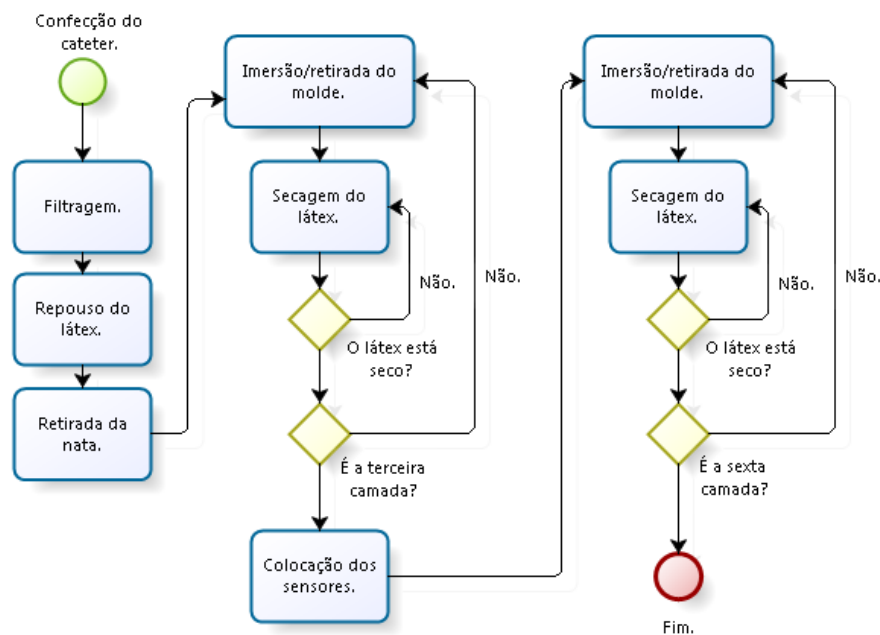


Figura 9 – Descrição gráfica do fluxograma da confeção do cateter instrumental de látex.

O processo de preparo do látex deve ser feita à uma temperatura inferior a 20 °C para garantir a não formação de aglomeração do material após garantir isso, é feita uma filtragem do látex em filtro de poro mediano, esse deve ser escolhido de modo com que impeça corpos estranhos em meio ao látex. Após a filtragem o látex é colocado em uma proveta de vidro que comporte no mínimo o volume do biomaterial com o molde imerso e é deixado descansar até a formação de nata na superfície, esse procedimento é feito para retirar as bolhas que aparecem após o material ser depositado no recipiente, logo em seguida é retirada essa nata assim garantindo a homogeneidade do material.

Assim que forem concluídas as etapas anteriores o molde da Fig. 10 é imerso no látex de forma que fique quase que completamente submerso, este procedimento é feito de forma lenta para evitar o aparecimento de bolhas, então o molde é retirado e deixado suspenso como na Fig. 11 em um lugar escuro, como um armário, para a secagem do material. O processo é repetido até a obtenção de três camadas com um intervalo de uma hora entre as repetições. Após a última repetição o cateter é deixado secar por três



Figura 10 – Molde em alumínio para a confecção do cateter onde pode-se ver os chanfros para a colocação dos sensores.

horas, afim de garantir a total cura do mesmo. Esta primeira fase da construção serve para formar a base onde vão ser colocados os sensores.



Figura 11 – Molde suspenso após banho de látex para retirada do excesso e iniciar a secagem em ambiente escuro sob temperatura ambiente em torno de 28 °C.

A construção da matriz foi iniciada sobre uma superfície plana para se conseguir um melhor alinhamento dos sensores. Nas Fig. 12 e Fig. 13 pode-se ver como esse processo foi realizado.

Ao fim da primeira fase os sensores e seus respectivos fios são depositados sobre o

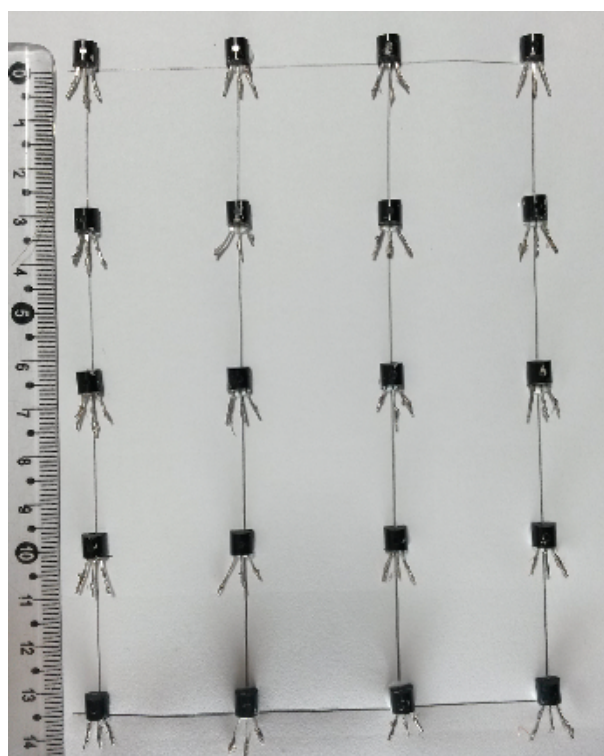


Figura 12 – Alinhamento dos sensores sobre o desenho com as dimensões exatas da matriz, 135 mm x 94,23 mm.

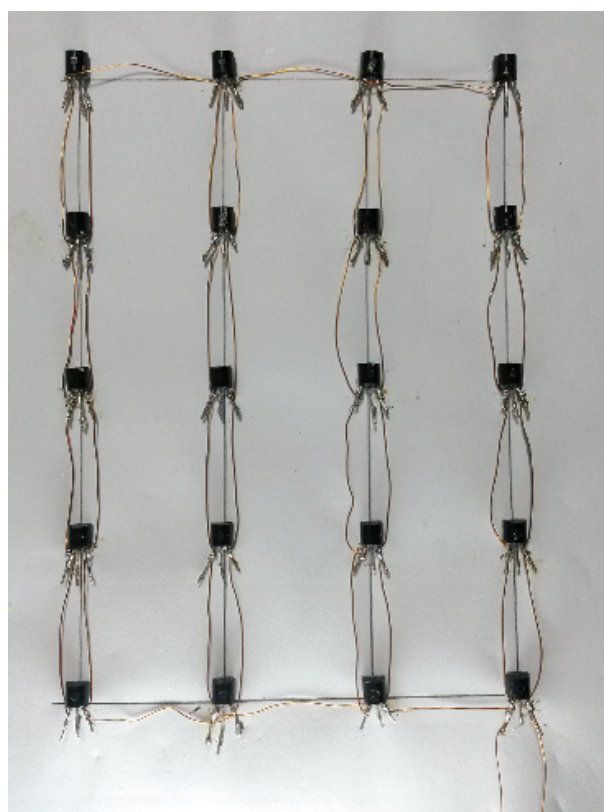


Figura 13 – Soldagem dos sensores no fios esmaltados.

látex com a face indicada na Fig. 14 voltada para o centro do molde nos seus rebaixamentos e são devidamente identificados com cores para possibilitar a escolha exata de cada sensor e sua posição. Após esse passo os chanfros devem ser preenchidos por látex um de cada vez até atingir a cobertura dos sensores e se chegar à altura da camada mais externa de látex.



Figura 14 – Alinhamento dos sensores sobre o desenho com as dimensões exatas da matriz.

Com a conclusão do preenchimento dos chanfros é repetido o processo descrito na primeira fase de forma a atingir o total de oito camadas de látex ao final do processo de construção, na Fig. 15 se vê como é a aparência final após o último banho. Logo após o último período de cura o cateter colocado em um recipiente contendo água com uma temperatura em torno de 5 °C, pois devido à diferença do calor específico do material do molde e o látex faz com que facilite a retirada do cateter de seu molde.

Assim é concluída a construção do cateter que irá ser usado neste trabalho, com qual cria a possibilidade da leitura das temperaturas ao longo do corpo esofágico. A Fig. 16 mostra o resultado final da etapa de construção do cateter.

4.2 Aquisição dos dados do cateter

4.2.1 O circuito

O circuito para o controle da aquisição dos dados é constituído de chaves analógicas que funcionam como um multiplexador para os sinais a serem injetados nas entradas analógicas. As entradas de chaveamento de cada CI são curto circuitadas afim de chavear quatro chaves ao mesmo tempo, e a partir desse curto circuito é feito o controle via *software* embarcado na BBB, assim fazendo o chaveamento de cada linha como visto na Fig. 17, esse parte do circuito se repete cinco vezes, uma para cada linha da matriz, o circuito completo do chaveamento fica como o da Fig. 18 e as saídas de cada linha são



Figura 15 – Aparência após o último banho de látex onde se vê a completa cobertura do material sobre o molde e os sensores.

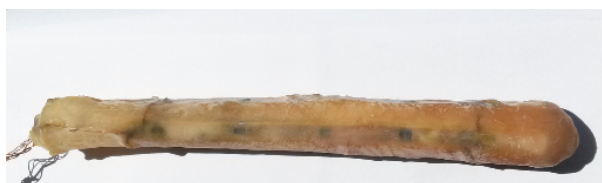


Figura 16 – Resultado final do processo de confecção do cateter após retirado do molde.

curto circuitadas com sua igual da linha anterior e os resistores então aparecem apenas em um para cada entrada analógica.

Este circuito é responsável por controlar qual linha de sensores será lida de cada vez, o circuito eletrônico da matriz de sensores é mostrada na Fig. 19 onde as saídas dos sensores deste circuito são ligadas às entradas do circuito da Fig. 18

A PCI gerada com o suporte do *software* Proteus 7.8 SP2 é mostrada na Fig. 20. está PCI foi executada em placa de fibra de vidro com lâmina de cobre nas duas faces como mostra a Fig. 21. O método de confecção da mesma foi por sublimação de toner, sendo feita, o serviço de transferência e finalização, de modo manual. A Fig. 22 mostra o resultado final da construção da PCI de controle.

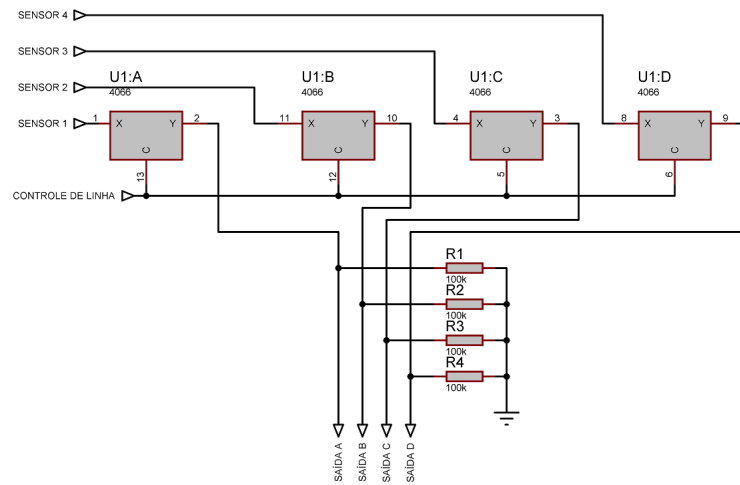


Figura 17 – Circuito de chaveamento e multiplexação para uma linha de sensores da matriz *software* confeccionado a partir do *software* Proteus 7.8 SP2.

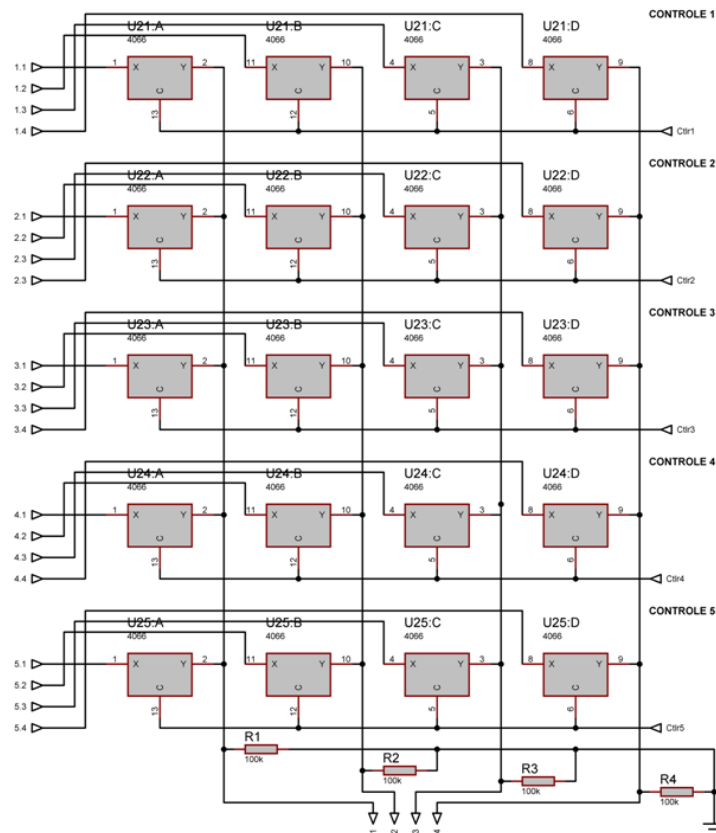


Figura 18 – Circuito de chaveamento completo com suas cinco linhas dando suporte para adquirir vinte sensores em quatro entradas analógicas desenhado no *software* Proteus 7.8 SP2.

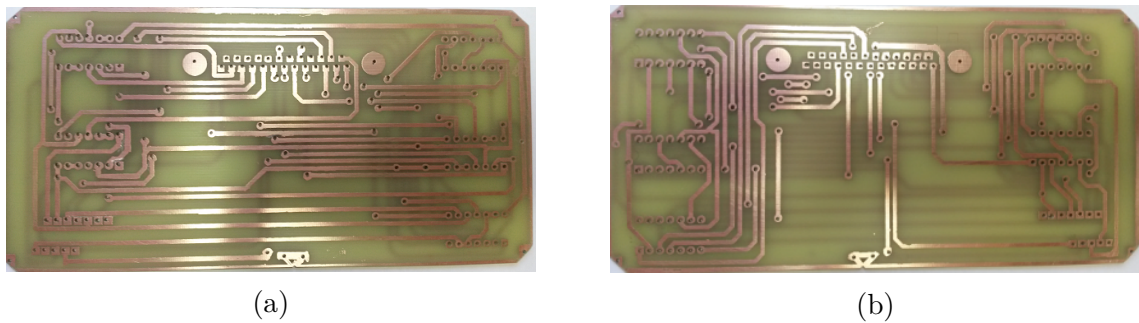


Figura 21 – (a) Vista inferior da PCI em fibra de vidro (b) Vista superior da PCI em fibra de vidro. Ambas feitas por técnica de deposição de toner por sublimação.

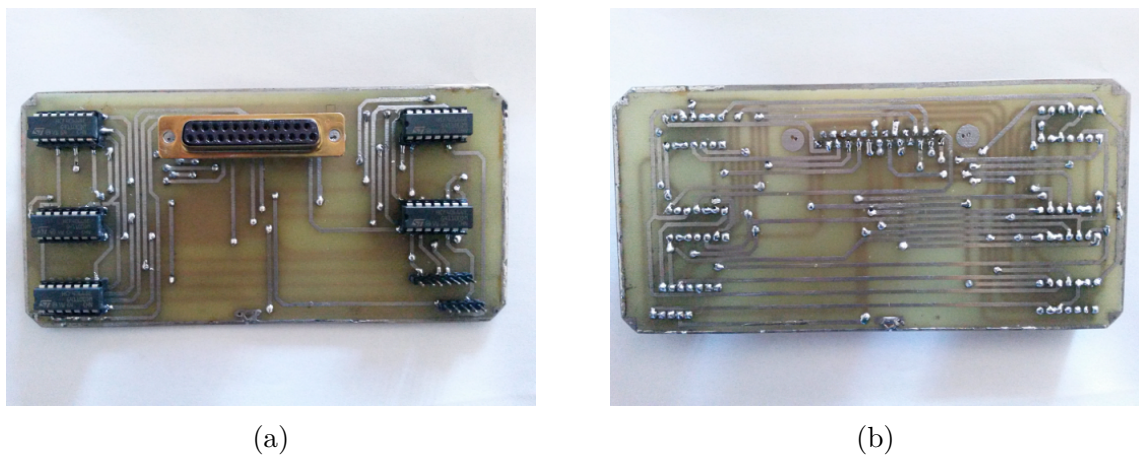


Figura 22 – Resultado final da construção da PCI de controle de chaveamento em sua vista superior (a) e vista inferior (b).

4.2.2 A aquisição dos dados

Foi criado um *software* em Python para o controle, aquisição, visualização e armazenamento dos dados vindos dos sensores, embarcado na BBB. O *software* consiste em alguns passos que são especificados no fluxograma da Fig. 23. A Fig. 24 mostra o resultado final do *software* criado para aquisição dos dados. Ao iniciar o programa é zerado todas as variáveis para evitar dados indesejáveis só então é começada a leitura de fato. Na etapa de leitura é selecionada a linha a ser lida, então essa é lida e armazenando os valores em suas respectivas posições, esse processo se repete até a última posição de linha. Então os valores devidamente posicionados na matriz são então armazenados em uma outra variável de histórico. Enfim é feita a plotagem do gráfico gradiente dessa matriz.

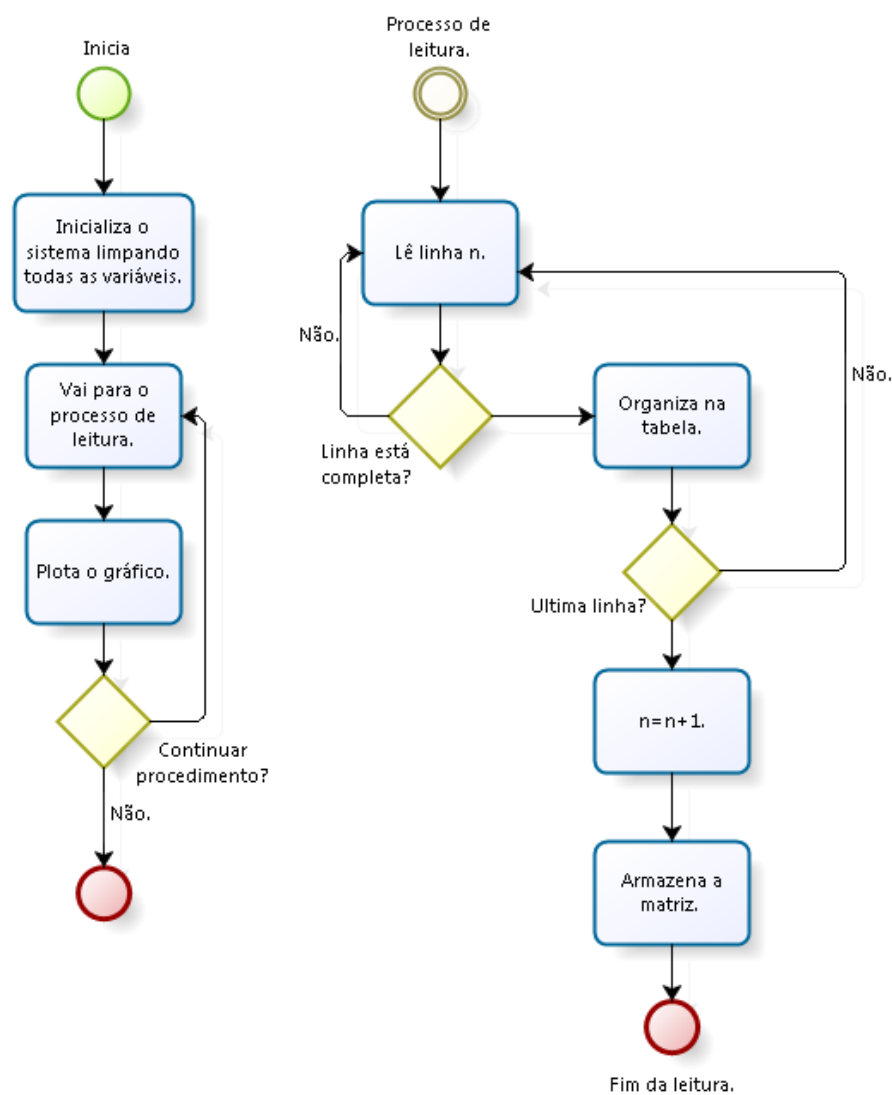


Figura 23 – Representação esquemática ratina de aquisição de dados percorrendo todas as suas etapas.

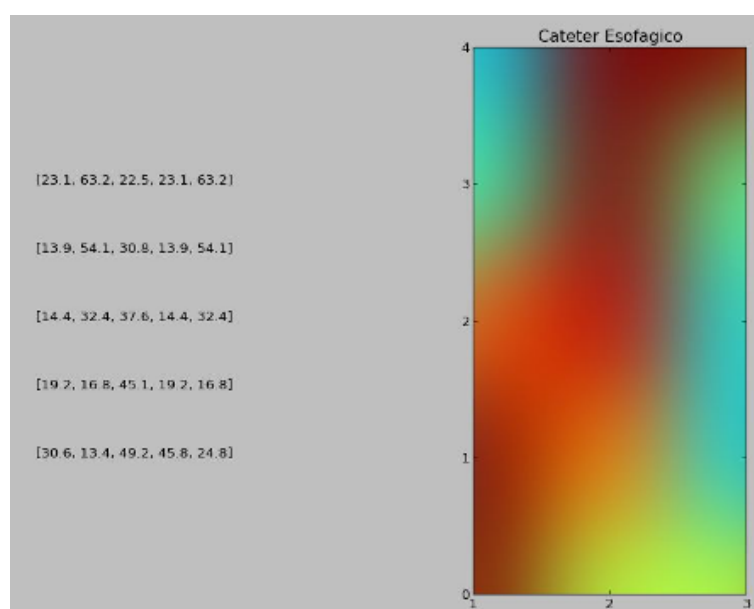


Figura 24 – Tela de saída do programa em *Python* após a aquisição de sinais gerados aleatoriamente nas entradas simulando variações de temperatura nos sensores.

5 Discussões

5.1 Cateter

No presente trabalho foi apresentado o método mais eficaz de confecção do cateter com látex, porém durante o desenvolvimento foram feitos vários testes variando material do molde, temperatura de cura, tempo de descanso entre os banhos. Dessas problemáticas, foi utilizado um período de sessenta dias para se obter um protocolo adequado de trabalho em laboratório, como por exemplo o fornecedor de látex que atendesse as necessidades levantadas nos requisitos.

O método que mais se apresentou satisfatório foi o apresentado neste trabalho porém, foi aberto uma gama de outras possibilidades de pesquisas com látex utilizando outros métodos conseguindo variação na coloração, e diferentes resistências mecânicas. Das várias aplicabilidades desse cateter em meio esofágico, pode-se desenvolver um equipamento semelhante a esse sem muitas alterações, para o uso em outras partes do corpo. Uma outra possibilidade de trabalho seria mudar o material do molde e ao invés de utilizar alumínio pode-se utilizar náilon, tomando cuidado com o revestimento a ser utilizado no molde para facilitar a retirada do material. Devido a aquisição de dados ser em *software* livre esse dispositivo pode ser agregado ao Sistema Único de Saúde (SUS) o que pode aumentar a capacidade de diagnóstico à grande comunidade atendida por eles.

Quanto ao material do molde, foi tentado utilizar náilon; O látex aderiu muito ao material, o que dificultou a retirada do mesmo, por este motivo não se prosseguiu com este material. Entretanto por ser um material mais mole que o alumínio, tornando-se um material com um acabamento final tão eficaz quanto, e de menor custo financeiro que o alumínio, o náilon ainda pode ser estudado como material para moldes sendo buscadas formas de diminuir essa aderência.

Também foi tentado dois modos de se apresentar os chanfros do molde, um com a parte cilíndrica do sensor virado para o centro do molde como usada nesse trabalho ou com a face do sensor virada para o centro do molde. A primeira escolha, deixou o material sensível pois, a face do sensor virado para fora apresentou quinhas vivas e isso fez com que o material fosse rompido em pontos específicos ou houvesse rompimentos total do cateter. Uma dificuldade encontrada quando o látex foi vulcanizado à temperatura ambiente ele ficou com aspecto "pegajoso", então todas as vezes que se fez o cateter usando este método foi empregado o uso de amido de milho na superfície do cateter, isso faz com que o mesmo impedisse de aderir, sendo possível a retirada por lavagem.

Os fios usados no interior do látex foi uma limitação encontrada durante a execução

do projeto. O látex por ser um material altamente compatível com o corpo humano, possui algumas capacidades do mesmo, como a característica de um material oxidativo. O fio de cobre com revestimento de verniz esmalte, que está disponível no mercado, possui microfissuras nessa camada de verniz, fazendo necessário adicionar uma camada extra de verniz para cobrir esses defeitos superficiais.

Da mesma forma que aconteceu com os fios, o sensor não seria diferente, foi dado uma demão de verniz sob os terminais dos sensores. Associada com essa camada de verniz foram colocadas as marcas que servem para a localização dos sensores para no processamento poder saber exatamente em que posição o mesmo está.

Todos os testes de vulcanização à quente tentados desse trabalho foram feitos sob uma temperatura máxima de 60°C. Essa temperatura, quando usado à quente, foi a que melhor se adequou aos requisitos de maleabilidade e transparência. Pode ser uma ótima linha de pesquisa buscar a caracterização térmica do látex onde seria possível achar uma temperatura ótima de vulcanização alcançando pontos ótimos para as propriedades mecânicas.

Ainda durante o processo de desenvolvimento do cateter foi verificado com apoio de outros pesquisadores que esse modelo de cateter pode ser usado em outras possibilidades de trabalhos na área médica, o que amplia a possibilidade de novas linhas de pesquisa, além do vasto uso na região esofágica.

5.2 Aquisição dos dados

Na construção do circuito foram utilizados vários conhecimentos adquiridos ao longo de muitos anos de estudo, como a confecção da PCI, soldagem dos sensores, quais sensores a serem usados, plataforma de aquisição, entre outros fatores que algumas vezes nem são lembrados. Mas algumas possibilidades também foram abertas como o uso de sensores digitais, ao invés de sensores analógicos e, o uso de monitor para verificação instantânea do resultado do exame ou o envio para um servidor para um posterior exame.

A cada segundo é feita a varredura da matriz dos sensores, ou seja, o tempo entra as leituras é de um segundo mas, esse tempo é configurável para outros tipos de procedimentos pode ser diminuído ou aumentado, conforme a necessidade.

5.2.1 Escolha do sensor

Foi optado por um sensor analógico, apesar da alta fidelidade do sensor digital, pois a plataforma escolhida, assim como a maioria de suas outras suas concorrentes, possui mais entradas analógicas do que entradas *Inter-Integrated Circuit* - I2C. Mesmo com uma maior fidelidade do sensor digital o analógico não tem uma resposta muito diferente para

esse uso e ainda custa menos da metade do preço na maioria dos fornecedores.

Os dois sensores tem suas dimensões idênticas de cerca de 10mm^2 , ou seja, para essa aplicação, quando levado em consideração somente esse fator, qualquer um dos sensores pode ser usado. Um outro fator que foi crucial para a escolha do sensor analógico foi a questão financeira, pois esse tem o custo de menos da metade do preço do digital. Levando em consideração esse fator e sabendo que a precisão do sensor digital não é muito superior à do sensor analógico, chegou-se ao veredito final quanto ao uso do sensor. Porém essa escolha não impede em trabalhos futuros, com outras realidades, se utilizar os sensores digitais.

5.2.2 Plataforma e sistema

5.2.2.1 Plataforma

A plataforma BBB se mostrou adequada ao uso, pois possui basicamente a mesma configuração de seu concorrente *Raspberry PI*, mas a BBB possui sete entradas analógicas e a *Raspberry PI* nenhuma. A BBB tem seu sistema iniciado em menos de dez segundos o tornando-a uma boa escolha para uso médico, onde qualquer ganho em tempo é muito importante.

Foi verificado ainda que essa plataforma pode ser vastamente utilizada em outras áreas de pesquisa na instrumentação biomédica, pela sua vasta aplicabilidade e suportar sistemas livres.

5.2.2.2 Sistema de aquisição

O sistema UNIX escolhido foi o *Debian*, pois ele mesmo com o modo gráfico ativado se mostrou veloz o suficiente para essa aplicação.

No modo gráfico é possibilitado ver o gráfico plotado localmente em um monitor; possibilitando a realização de um exame instantâneo pelo especialista. Porém o processamento não perde em nada se o modo gráfico estiver desligado e os resultados serem armazenados em um servidor, ou localmente, para um exame a distância ou para se gerar um histórico e traçar um diagnóstico mais completo do paciente.

O *software* de controle, aquisição e plotagem do gráfico foi desenvolvido em Python que da mesma forma do *Debian* é livre e multiplataforma podendo ser transposto para outros sistemas sem a necessidade de grandes alterações. Essa é uma ferramenta que possibilita criar programas que tenham interface com o usuário, ou não, e possui muito pacotes que facilitam o intercambiamento de informações entre dispositivo e servidores, por exemplo.

Esse sistema completo, por permitir trabalhar em modo gráfico, possibilita ainda

a criação de ferramentas bastante intuitivas para facilitar o trabalho dos especialistas em otimizar a velocidade de diagnósticos dados pelo mesmo.

Referências

- 1 IPEF, I. de Pesquisas e E. F. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais IPEF*. 2015. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/hevea.brasiliensis.asp>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 18.
- 2 ROSA, S. d. S. R. F.; ALTOÉ, M. L. Bond graph modeling of the human esophagus and analysis considering the interference in the fullness of an individual by reducing mechanical esophageal flow. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, SciELO Brasil, v. 29, n. 3, p. 286–297, 2013. Citado na página 15.
- 3 MRUÉ, F. Substituição do esôfago cervical por prótese biossintética de látex: estudo experimental em cães [dissertação]. *São Paulo: Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto*, 1996. Citado na página 15.
- 4 GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Fundamentos de Guyton: tratado de fisiologia médica*. [S.l.]: Guanabara koogan, 2002. Citado na página 15.
- 5 ROSSINI, A. R. A. L.; FILHO, J. P. P. de M. Esôfago. In: _____. [S.l.]: Rubio, 2005. cap. Sintomas Associados às Doenças Esofagianas - Visão Geral, p. 13–20. Citado na página 15.
- 6 PAULA, P. et al. Analysis of biomaterial latex-derived flow mechanical controller. In: IEEE. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*. [S.l.], 2010. p. 263–267. Citado na página 15.
- 7 LAMBERT, R. Barrett's oesophagus: better left alone? *European journal of gastroenterology & hepatology*, LWW, v. 13, n. 6, p. 627–630, 2001. Citado na página 16.
- 8 MACHADO, G. Esôfago. In: _____. [S.l.]: Rubio, 2005. cap. Aplicabilidade da Endoscopia Digestiva Alta nas Doenças Esofagianas, p. 37–68. Citado na página 16.
- 9 ARDENGH, J. C. Esôfago. In: _____. [S.l.]: Rubio, 2005. cap. Aplicabilidade da Ecoendoscopia nas Doenças Esofágicas, p. 68–92. Citado na página 17.
- 10 JR, W. D. C.; SOARES, S. M. S. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2008. Citado na página 18.

Anexos

ANEXO A – Fotografias

Fotos retiradas durante doze meses de projeto.

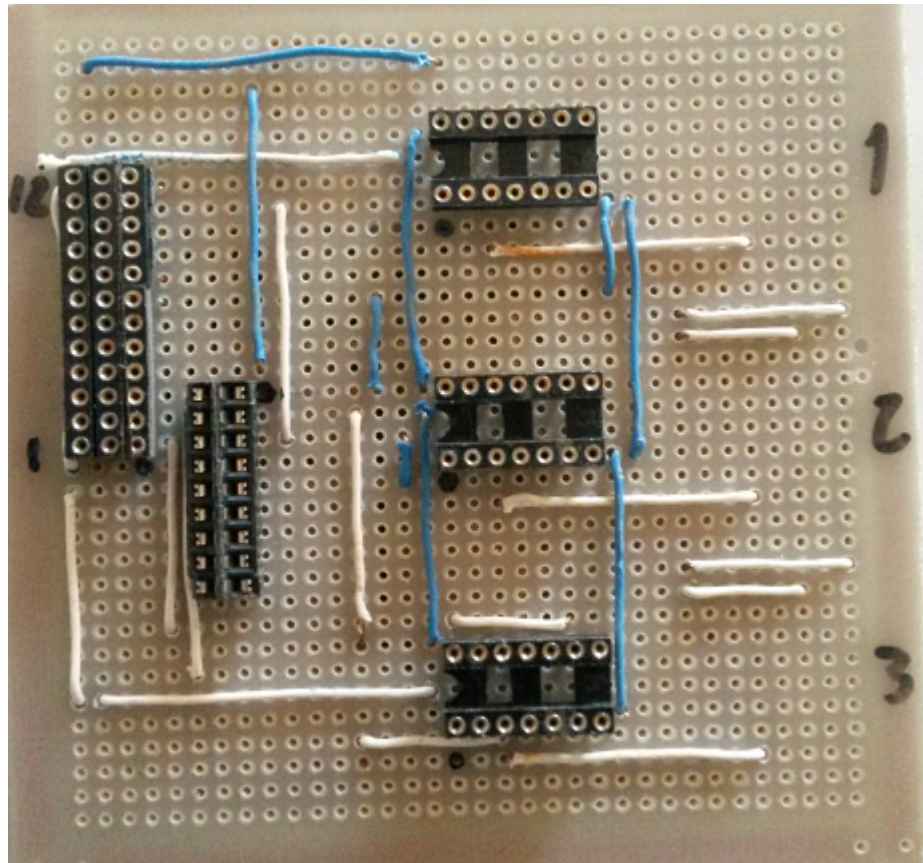


Figura 25 – Primeiro protótipo feito em placa universal com a possibilidade de aquisição de doze sensores.

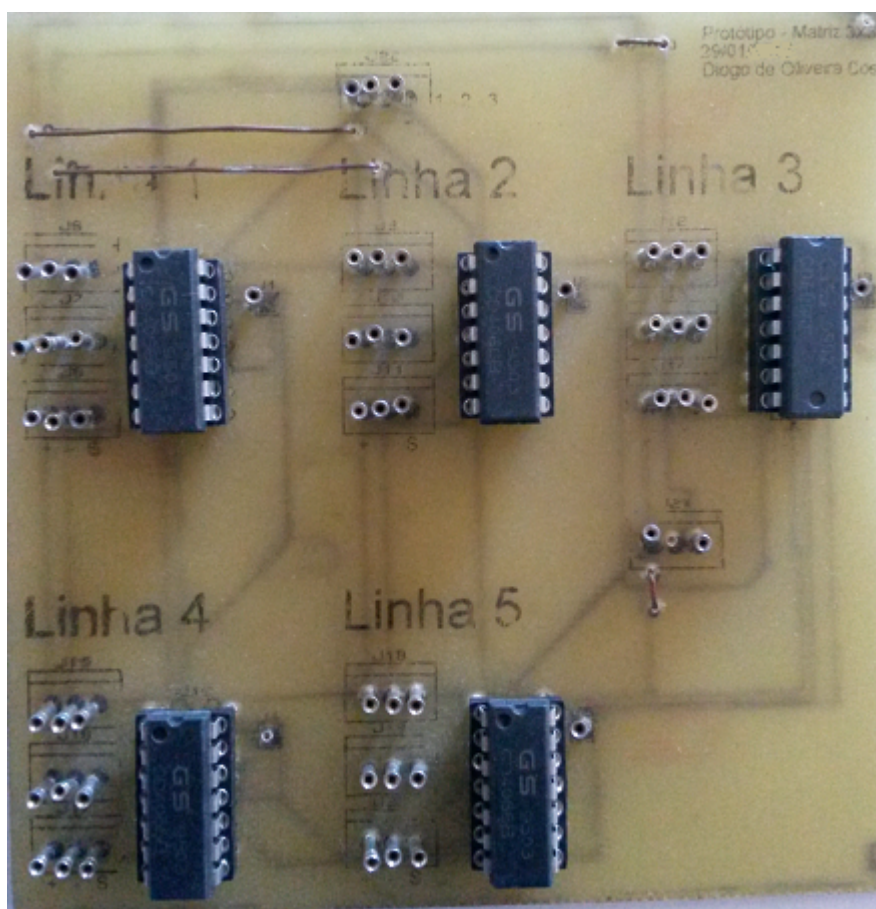


Figura 26 – Segundo protótipo feito em placa universal com a possibilidade de aquisição de quinze sensores dispostos em cinco linhas e três colunas.

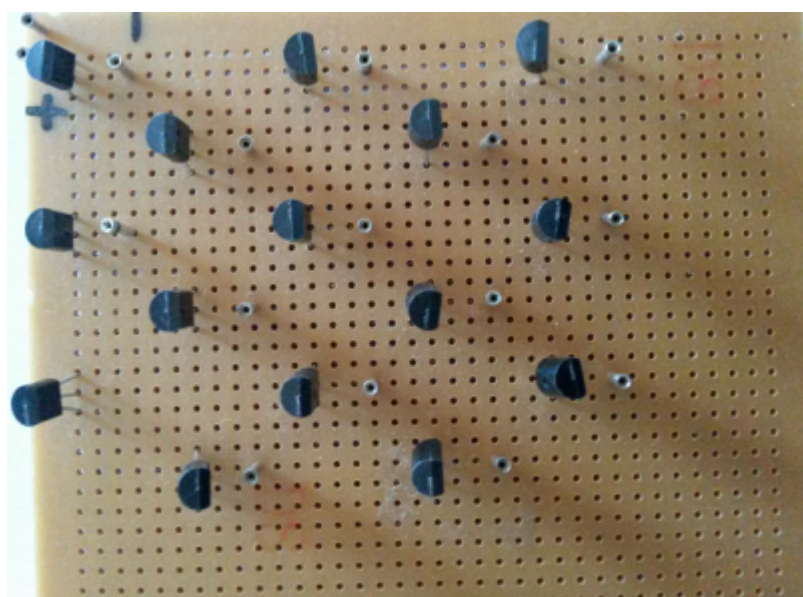


Figura 27 – Protótipo da matriz de sensores onde estão dispostos de forma planar onde estão quinze sensores para serem usados no circuito do segundo protótipo da Fig. 26



Figura 28 – Teste de secagem do látex sobre vidro sob a ação de luz ultravioleta em temperatura ambiente.

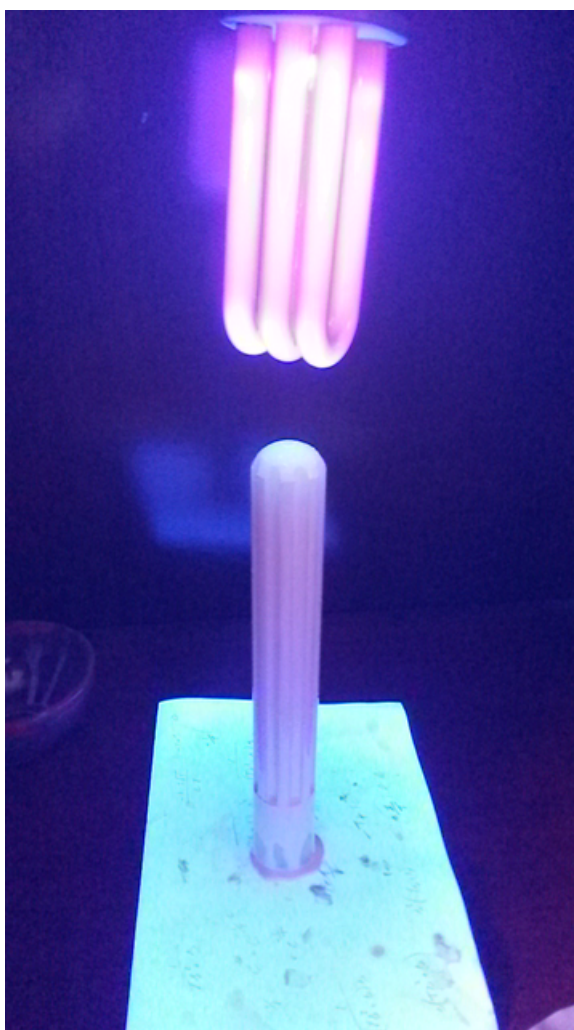


Figura 29 – Teste de secagem do látex sobre o molde de náilon sob a ação de luz ultravioleta em temperatura ambiente.

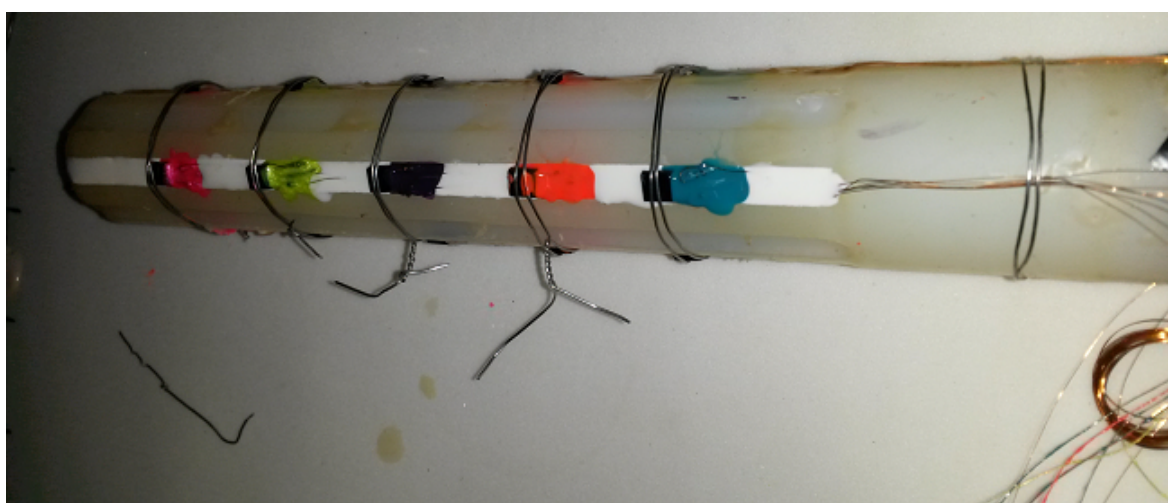


Figura 30 – Teste da marcação dos sensores com esmalte fosforescente para posterior endereçamento.

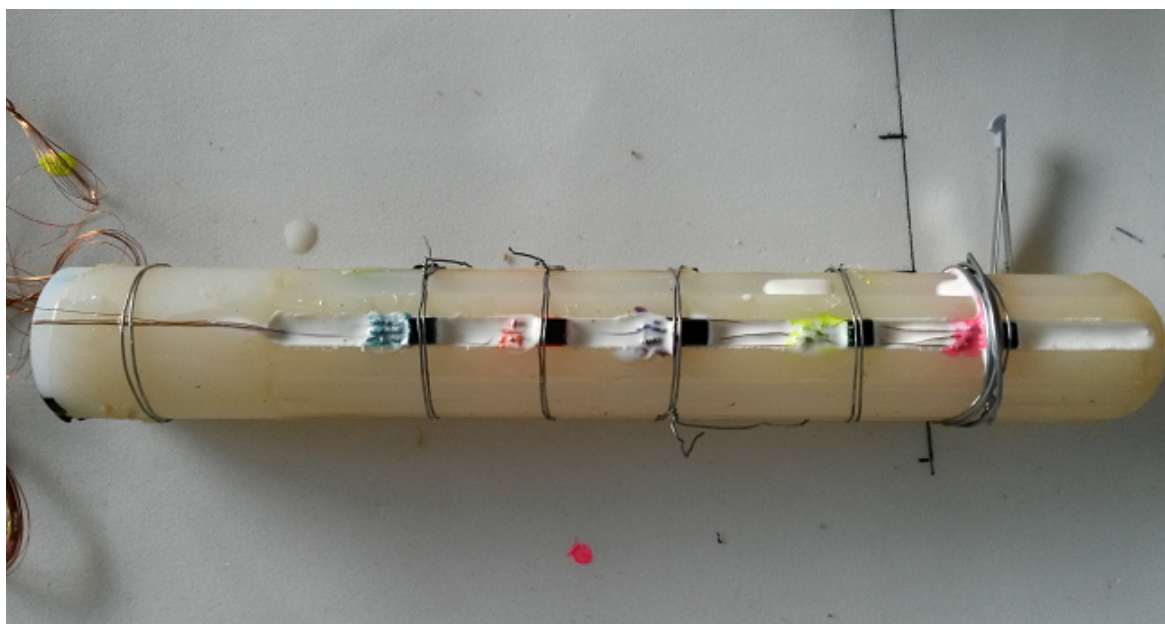


Figura 31 – Teste de cobertura do sensores marcados com esmalte pelo látex.

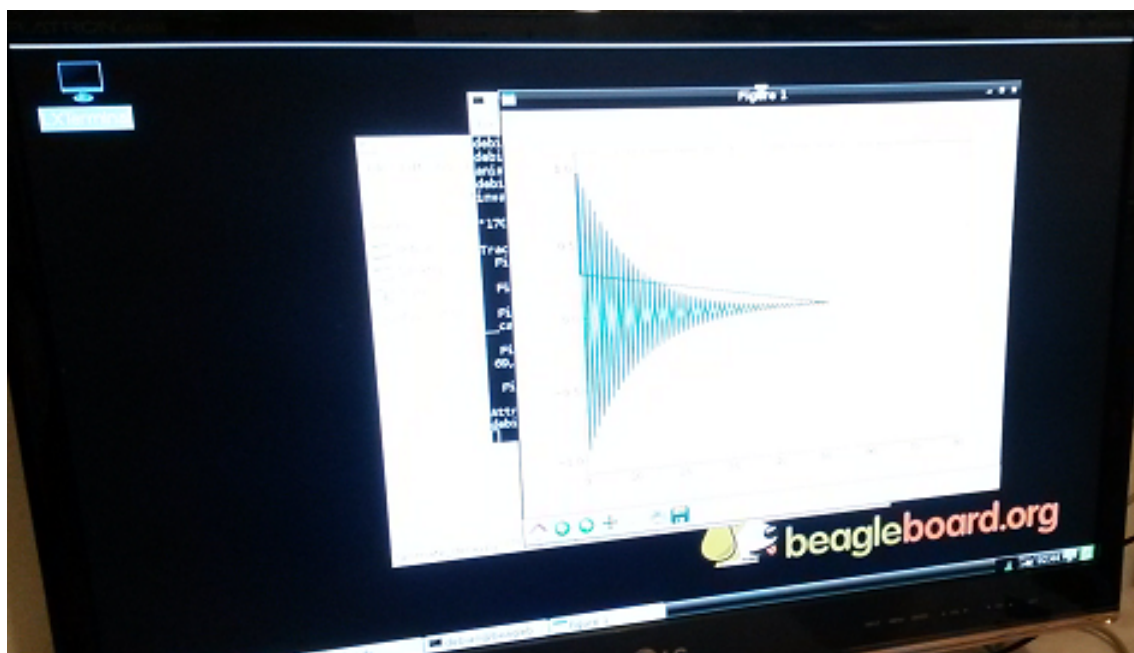


Figura 32 – Tela de saída da plataforma BBB plotando um gráfico de decaimento exponencial.



Figura 33 – Molde de náilon usado para testes no início da pesquisa.