

Inclinómetro planar de precisão para o Atlascar-2

Projeto de Automação Industrial – Relatório Final

Orientador-Prof. Vítor Santos

82660 – Armindo Silva

Aveiro, 16 junho 2017

### Índice

[Índice 2](#_Toc487727193)

[Lista de Figuras 3](#_Toc487727194)

[1. Resumo 4](#_Toc487727195)

[2. Introdução 4](#_Toc487727196)

[3. Objetivos do projeto 4](#_Toc487727197)

[4. Elementos do Projeto 5](#_Toc487727198)

[4.1. Sensor SENSICK DT20 Hi 5](#_Toc487727203)

[4.2. Microcontrolador Arduino Nano 6](#_Toc487727204)

[4.3. LCD 16x2 6](#_Toc487727205)

[5. Implementação da Hardware 7](#_Toc487727206)

[6. Aquisição de dados e conversão 9](#_Toc487727207)

[7. Implementação do programa no Arduino nano 12](#_Toc487727208)

[8. Montagem no veículo 14](#_Toc487727209)

[9. Testes de funcionalidade no veiculo 16](#_Toc487727210)

[10. Comunicação por Bluetooth 20](#_Toc487727211)

[11. Conclusões 21](#_Toc487727212)

### Lista de Figuras

[Figura 1-Sensor SENSICK DT20 Hi 5](#_Toc487727213)

[Figura 2-Arduino Nano AT328 6](#_Toc487727214)

[Figura 3-LCD 16x2 6](#_Toc487727215)

[Figura 4-Resistência queda de tensão e filtro passa baixo 7](#_Toc487727216)

[Figura 5- Esquema realizado em eagle 8](#_Toc487727217)

[Figura 6-layout do PCB realizado em eagle 8](#_Toc487727218)

[Figura 7-Dados recolhidos e valores de leitura de distância convertida 9](#_Toc487727219)

[Figura 8-Valores de regressão para um dos quatro sensores 9](#_Toc487727220)

[Figura 9-Gráficos da relação Distância Sensor com Leitura ADC 11](#_Toc487727221)

[Figura 10-Ilustação da obtenção dos ângulos 12](#_Toc487727222)

[Figura 11-Programa para a obtenção dos ângulos 13](#_Toc487727223)

[Figura 12-Posição dos sensores traseiros 14](#_Toc487727224)

[Figura 13-Posição dos sensores da frente 14](#_Toc487727225)

[Figura 14-Caixa PVC com hardware, ligações realizadas e em função 15](#_Toc487727226)

[Figura 15-Frequência de ocorrência de valores ADC 17](#_Toc487727227)

[Figura 16-Frequência de ocorrência de valores ADC convertidos 17](#_Toc487727228)

[Figura 17-Frequência de ocorrência de valores Pitch 18](#_Toc487727229)

[Figura 18-Frequência de ocorrência de valores Roll 18](#_Toc487727230)

[Figura 19-Frequência de ocorrência de valores Pitch com media de valores 19](#_Toc487727231)

[Figura 20-Frequência de ocorrência de valores Roll com media de valores 19](#_Toc487727232)

[Figura 21-Aplicação android realizada na MIT appinventor 20](#_Toc487727233)

[Figura 22-Diagrama de blocos do programa na MIT appinventor 20](#_Toc487727234)

# Resumo

Este projeto consistiu em desenvolver um sistema que permite determinar a inclinação de um veiculo quando este é sujeito a acelerações. Esta calculo é baseado na medição da distância de quatro pontos distintos do chassi em relação ao chão.

# Introdução

Este trabalho consiste na realização de um inclinómetro que devolve informação sobre os ângulos de inclinação do carro quando este é sujeito a acelerações. Para esse efeito foram usados sensores de medição de distância. Estes medem a distância entre quatro pontos fixos do chassi do carro a uma referência que, neste caso, é a estrada. Quando o carro é sujeito a acelerações como, por exemplo, ao travar as forças aplicadas na estrutura do carro levam este a rebaixar a frente e levantar a traseira. Graças à diferença de distância medida em relação ao chão e informação sobre a distância entre sensores, pode ser, através de cálculo trigonométrico, calculado o ângulo de inclinação.

# Objetivos do projeto

* Estudo da solução anterior desenvolvida para o ATLASCAR-1.
* Conceção geral do sistema e dos seus blocos constituintes.
* Desenvolvimento da unidade para interface elétrica entre sensores e sistema de aquisição.
* Programação do sistema de aquisição de dados e cálculo das orientações.
* Ensaios laboratoriais para teste e calibração do sistema de medição.
* Colocação, fixação e teste do sistema no carro.

# Elementos do Projeto



## Sensor SENSICK DT20 Hi

Para a obtenção das distâncias entre pontos fixos da estrutura do carro e o solo foi, para este projeto, usado o sensor SENSICK DT20 Hi. Este sensor é um dispositivo optoelectrónico que permite obter distâncias entre objetos via ótica e sem contacto. O emissor é um laser de cor vermelha com comprimento de onda de 655nm, o que permite uma boa leitura da distância, independentemente da rugosidade do objeto de incidência do laser.

O sensor permite uma leitura de distância com uma gama de 50mm a 1000mm com resolução inferior a 1mm, linearidade de ±6mm e velocidade de reação de 2,5/ 10/ 40ms configurável no menu do sensor.

O sensor pode ser alimentado por uma fonte de tensão continua com valores de tensão entre 10 e 30V. Tem duas saídas de sinal, uma analógica e uma de comutação, e tem uma entrada multifunções. Para este projeto foi usado a saída analógica que se comporta como fonte de corrente com uma gama de corrente que varia entre 4mA e 20mA. Esta gama de corrente vem predefinida para a gama total do sensor, no entanto pode ser alterada no menu. Como para este projeto a gama total do sensor não é necessária e o sensor esta montado a 450mm do solo optou-se por uma gama de 500mm, de 200mm a 700mm, o que corresponde, respetivamente, a uma variação na corrente de 4mA a 20mA.



Figura 1-Sensor SENSICK DT20 Hi

## Microcontrolador Arduino Nano

Para este projeto usou-se um Arduino nano com microcontrolador AT328. O Arduino tem uma tensão de operação de 5V e pode ser alimentado por uma fonte de tensão continua com uma gama de 6 a 20V. Este Arduino possui 14 entradas ou saídas digitais das quais 6 podem ser saídas PWM e 8 entradas analógicas de 10 bits o que permite uma resolução com 1024 valores. Tem memoria flash de 32 KB memoria SRAM de 2KB e EEPROM de 1KB. A frequência *clock* é de 16MHz.

No âmbito de este projeto foram usadas 4 entradas analógicas, uma para cada sensor de distância e 7 entradas digitais, 6 para o leitor LCD e uma para o botão de calibração.

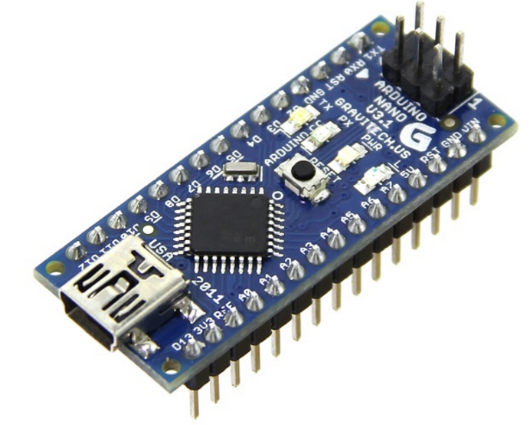


Figura 2-Arduino Nano AT328

## LCD 16x2

O *display* utilizado neste projeto é um LCD com 16 colunas por 2 linhas com iluminação de fundo azul e escrita em branco, possui um controlador HD44780 e a interface com o Arduino é realizada basicamente por 4 pinos de dados e 2 de controlo.

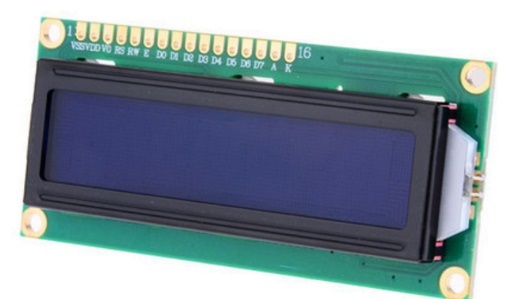


Figura 3-LCD 16x2

# Implementação da Hardware

Como a saída analógica dos sensores age como uma fonte de corrente e as entradas analógicas do Arduino nano fazem leitura de tensão, foi necessário converter a corrente das saídas dos sensores numa tensão proporcional a corrente, com uma gama de tensão de forma a aproveitar totalmente da resolução da entrada analógica. Para isso foi usado uma resistência em série com a saída analógica do sensor. O valor da resistência foi calculado dependentemente da corrente máxima do sensor (20mA) e da tensão máxima descegada, neste caso 5V.

(1)

Como não é possível obter resistências de 250Ω foram usadas duas resistências, uma de 150 e uma de 100Ω com erro de 1% garantindo assim uma boa precisão na leitura.

Para reduzir frequências parasitas na tensão medida na resistência foi implementado um filtro passa-baixo com uma frequência de corte de 250Hz. O valor da resistência foi escolhido de forma a permitir o cálculo de um condensador com valor baixo, permitindo o uso de condensadores cerâmicos, mais indicados para este tipo de aplicação. O valor da resistência escolhida foi de 10kΩ e o condensador foi calculado através da seguinte fórmula.

(2)

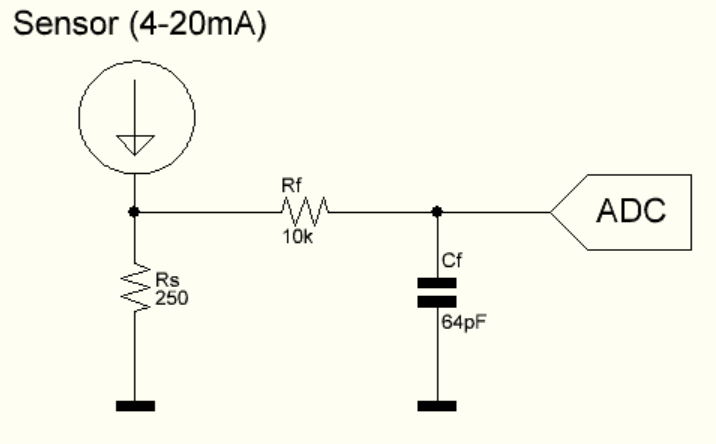


Figura 4-Resistência queda de tensão e filtro passa baixo

Após testes realizados em placa branca e os resultados das leituras serem satisfatórias, foi desenvolvido um PCB usando o *software eagle* para a realização do layout.

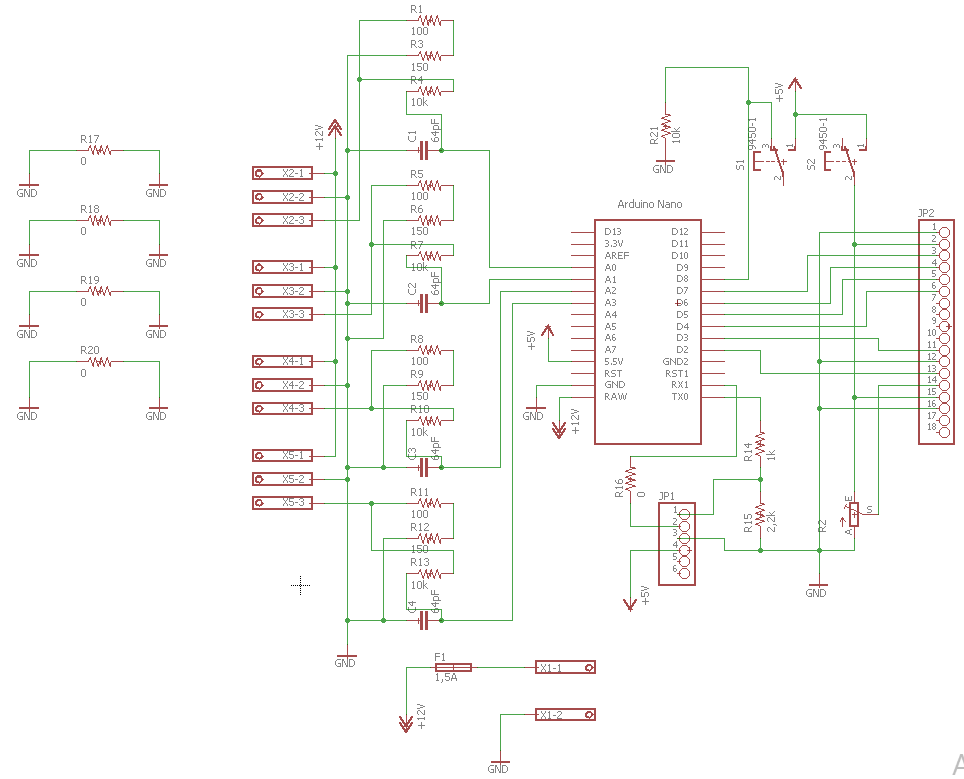


Figura 5- Esquema realizado em eagle

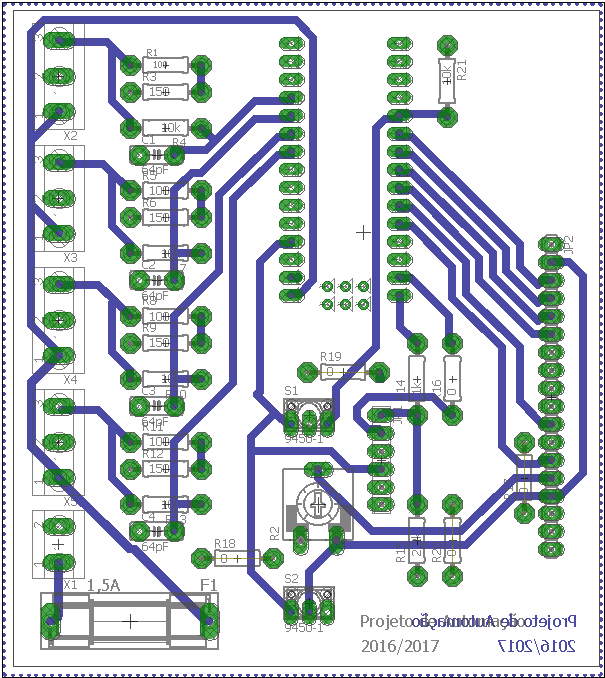


Figura 6-layout do PCB realizado em eagle

Este PCB engloba o tratamento de sinal dos sensores, o Arduino nano, um *socket* para a ligação de um LCD 16x2 com um potenciómetro R2 que possibilita o ajuste do seu contraste, um botão de calibração das leituras, um *socket* para a ligação de um modulo Bluetooth e um fusível de segurança F1 de 1,5A. A ligação dos sensores e da fonte de tensão é feita através de bornes de ligação por parafuso.

# Aquisição de dados e conversão

Após realização do PCB, iniciou-se a aquisição de dados. Para isso, foram recolhidos 20 valores da queda de tensão na resistência de medição e da leitura da ADC do Arduino, para todos os sensores na gama de leitura de 200mm até 700mm.

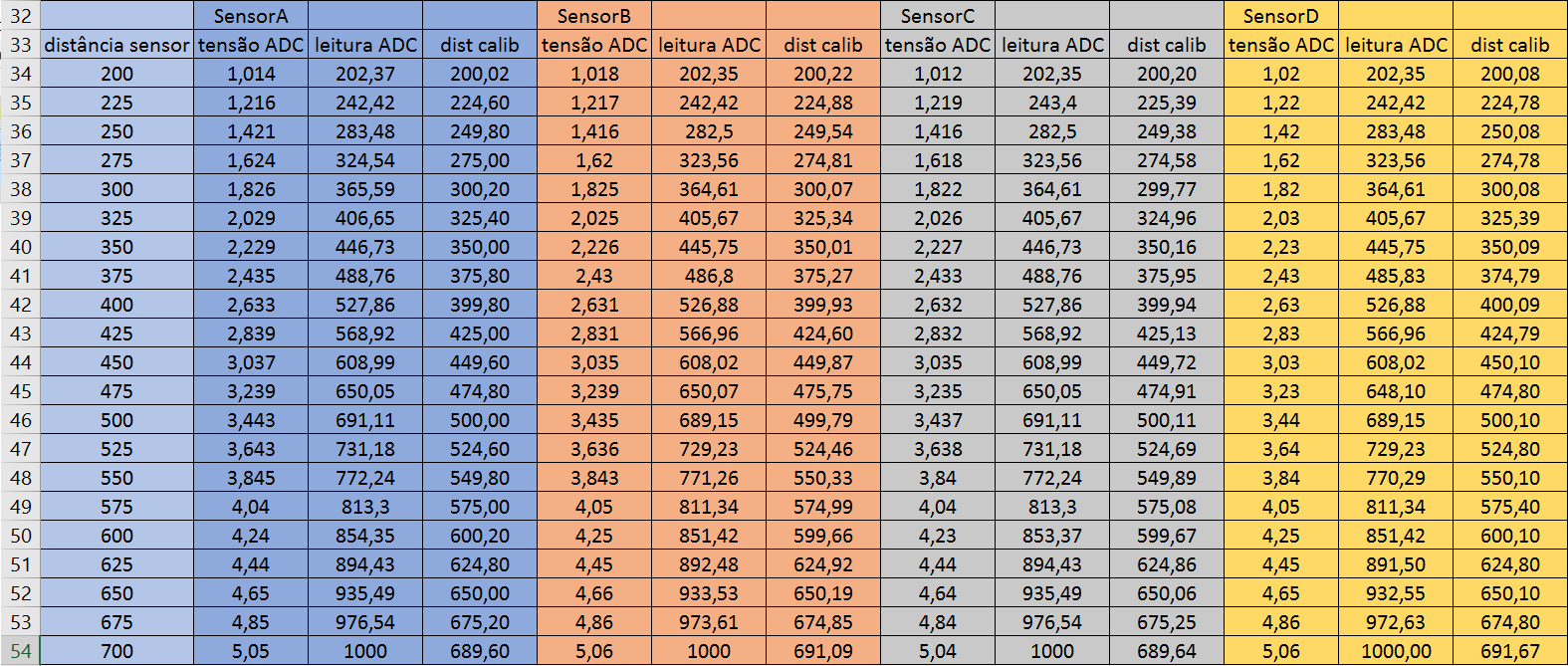


Figura 7-Dados recolhidos e valores de leitura de distância convertida

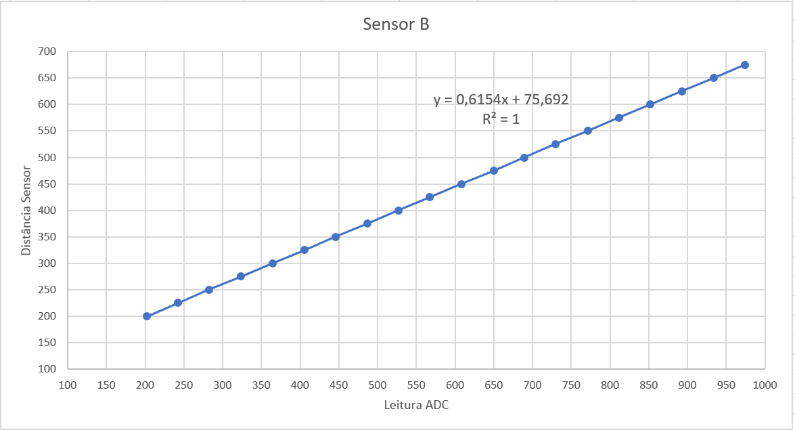
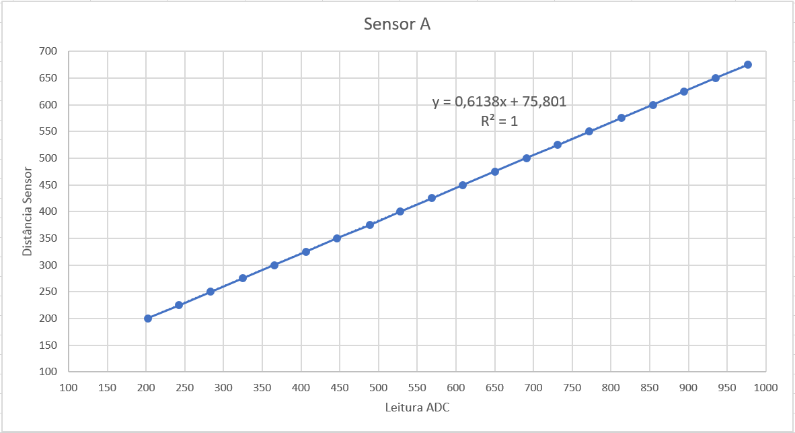
A queda de tensão a entrada da ADC varia de 1 a 5V para distâncias de 200 a 700 mm. Esta variação corresponde a, aproximadamente, 200 a 1000 valores na ADC. Foi necessário determinar a equação da reta que relaciona a distância medida pelo sensor com os valores da ADC. Para isso, foram realizados os gráficos da figura 9 em *excel.* Os valores da tabela na figura 8 demostram a linearidade da relação dos valores dos sensores em função da leitura da ADC.

|  |  |
| --- | --- |
| *Estatística de regressão* | |
| R múltiplo | 0,99999804 |
| Quadrado de R | 0,99999608 |
| Quadrado de R ajustado | 0,999995862 |
| Erro-padrão | 0,300855801 |
| Observações | 20 |

Figura 8-Valores de regressão para um dos quatro sensores

Na aquisição dos valores da ADC notou-se que em determinadas medições apareciam flutuações nos valores lidos da ADC sem haver variação da queda de tensão nas entradas analógicas. Este fenómeno é causado pela resolução da ADC do Arduino. As ADC’s do Arduino têm uma resolução de 10 bits o que equivale a 1024 valores.

Inicialmente fez se uma aquisição de dados usando a gama total dos sensores, o que equivale a 1000mm. Numa segunda fase, diminuiu-se a gama de leitura para 500mm (de 200mm a 700mm) o que resultou numa melhor precisão na leitura e numa redução nas flutuações devido ao “efeito de escada” da ADC.

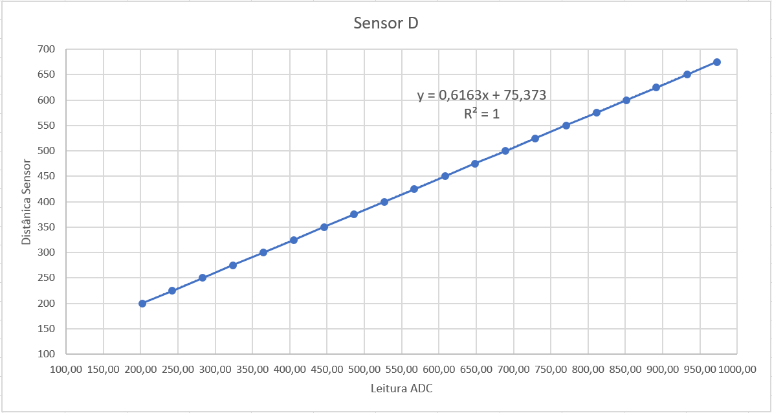
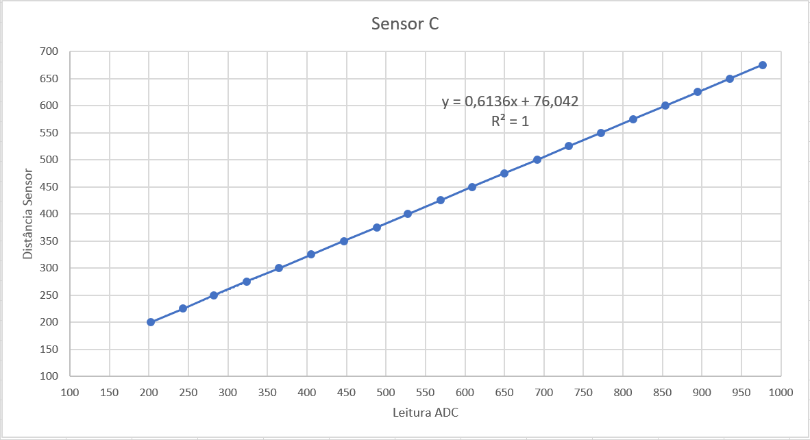
 

Figura 9-Gráficos da relação Distância Sensor com Leitura ADC

# Implementação do programa no Arduino nano

Após a aquisição dos valores das ADC’s foi necessário realizar um programa par obter os valores desejados neste projeto, que são os ângulos de inclinação *pitch,* no caso em que o caro esta sujeito a aceleração que seja a travagem ou ao arranque, e *roll*, quando o caro está sujeito a aceleração no caso de alteração da sua trajetória.

Para isso começou por se converter a leitura dos sensores com o auxílio das equações das retas determinadas no capítulo anterior. Agora que os valores das variáveis de distância correspondem à leitura dos sensores, realizou-se a calibração das leituras permitindo uma leitura a partir de um valor de referência, neste caso, o valor zero. Quando o botão de calibração é definido o *set-point* que irá ser subtraído a todos os valores lidos.

De seguida, graças à biblioteca *math.h,* realizaram-se os cálculos de trigonometria para a obtenção dos ângulos. O calculo realizado foi,

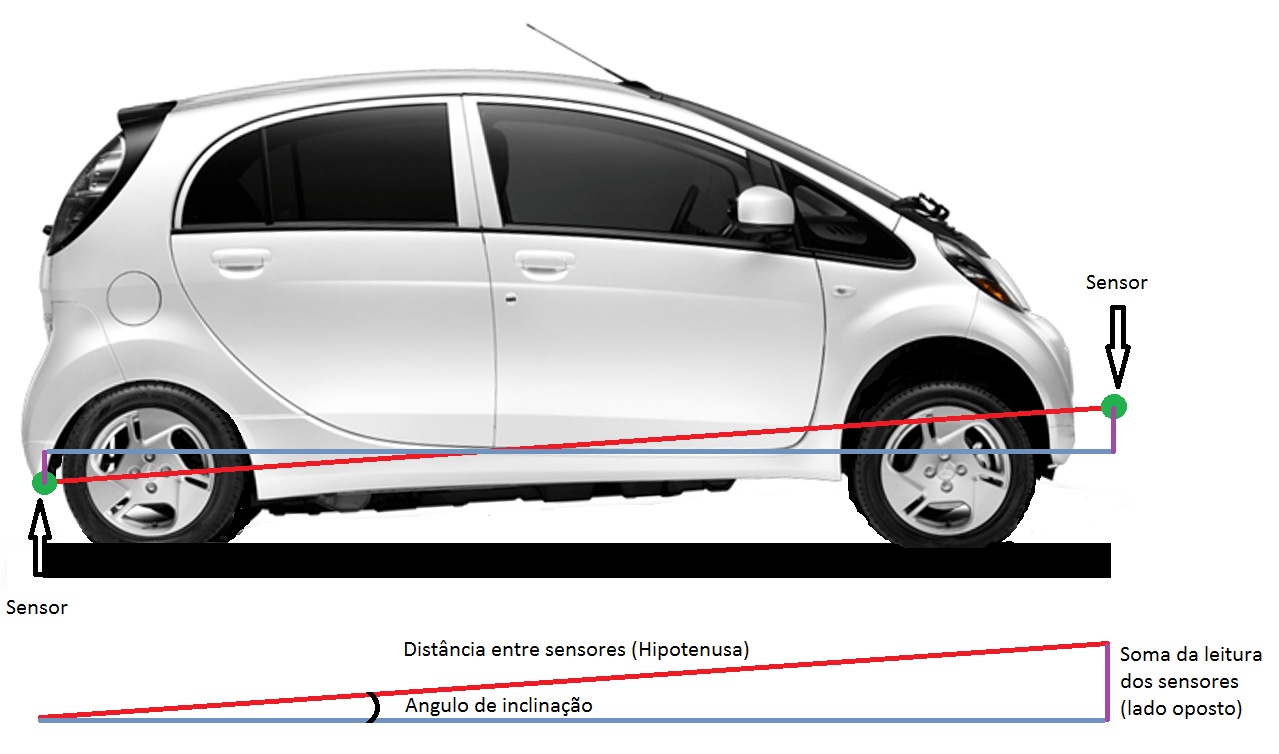
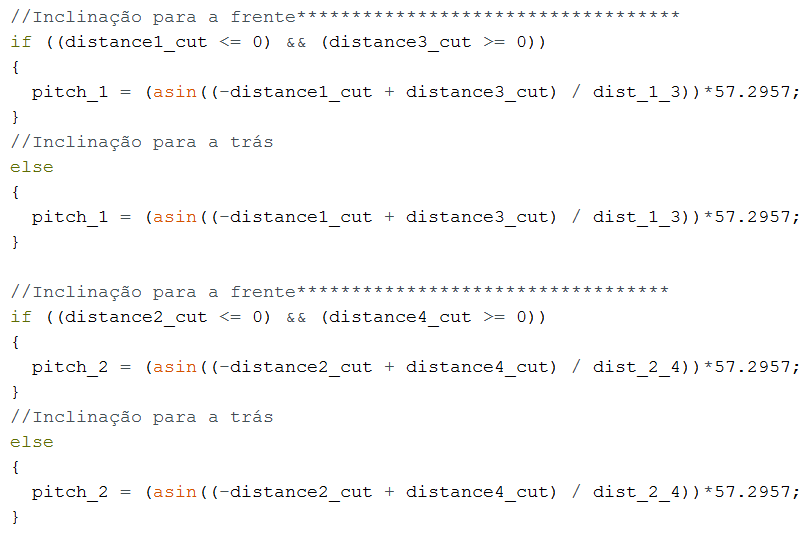


Figura 10-Ilustação da obtenção dos ângulos

Na figura 11 pode se ver como o calculo dos ângulos foi realizado através no programa Arduino,



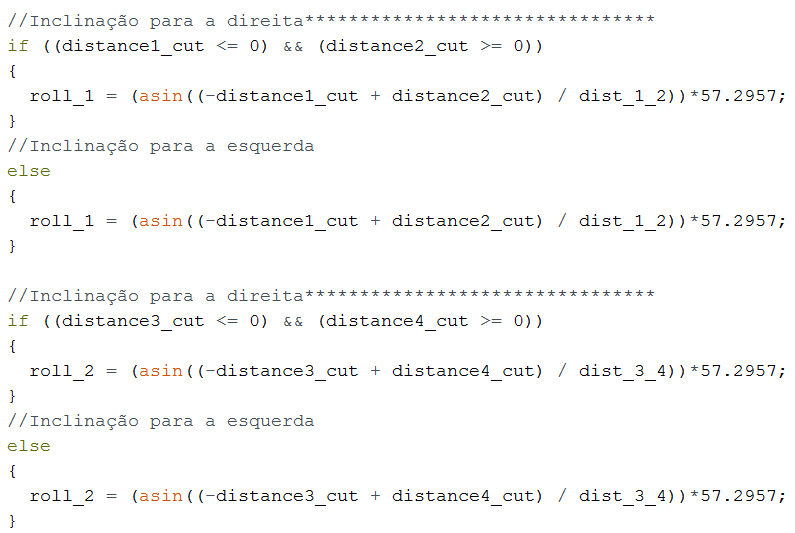


Figura 11-Programa para a obtenção dos ângulos

Distance1\_cut e Distance2\_cut correspondem à distância lida pelos sensores da frente e Distance3\_cut e Distance4\_cut correspondem à distância lida pelos sensores de trás. Dist\_x\_x corresponde a distância entre sensores e 57,2957 é o resultado da divisão de 180/π na conversão de radianos para graus.

# Montagem no veículo

Com a hardware e software realizada e o sistema testado em bancada, iniciou-se a montagem do sistema no carro. O primeiro passo foi fixar os sensores. Os sensores de trás foram aplicados aos suportes do para-choques traseiro como representado na figura seguinte,



Figura 12-Posição dos sensores traseiros

Os sensores da frente foram montados numa estrutura aplicada ao carro na realização de outro projeto como representado na figura seguinte,

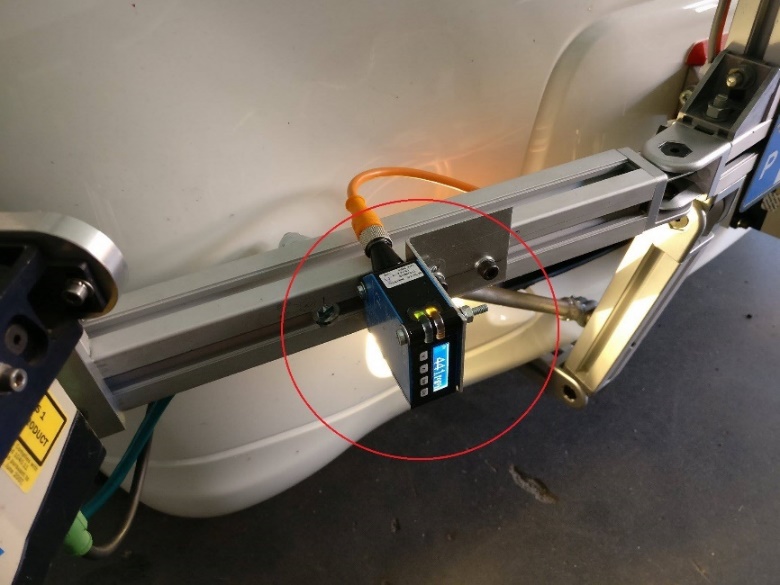


Figura 13-Posição dos sensores da frente

De seguida foram aplicados os cabos que foram levados da mala, onde está colocada a central, até ao local de aplicação dos sensores. A hardware foi incorporado numa caixa em PVC onde foi montado o LCD em fachada e onde vão ligar os cabos dos sensores. A alimentação do sistema em 12V vem da caixa de alimentação situada na mala realizada noutro projeto.



Figura 14-Caixa PVC com hardware, ligações realizadas e em função

# Testes de funcionalidade no veiculo

O primeiro teste de funcionalidade consistiu em verificar se o sistema devolvia valores para os ângulos de forma correta. Usou-se, para isso, objetos com medida conhecida colocados debaixo dos sensores simulando inclinação do veiculo. Os valores obtidos e aficados no LCD corresponderam aos valores calculados com calculadora. No entanto, deparou-se com um ligeiro problema de instabilidade dos valores, algo que já tinha sido reparado anteriormente, mas agora com maior frequência. Isto porque agora tanto os valores do *Pitch* como do *Roll* são dependentes dos quatro sensores, o erro de todos eles é acumulado.

Para determinar a importância das flutuações dos valores foi recolhido uma amostra de 500 valores das ADC’s, das medidas convertidas e do *Pitch* e do *Roll*.

Os gráficos na figura 15 e 16 representam a frequência de valores da ADC e valores convertidos, entre o valor mínimo e valor máximo obtidos nas amostras para um dos sensores.

Como se pode ver não há acumulação de erro na conversão dos valores. A frequência de valores é a mesma em ambos os gráficos.

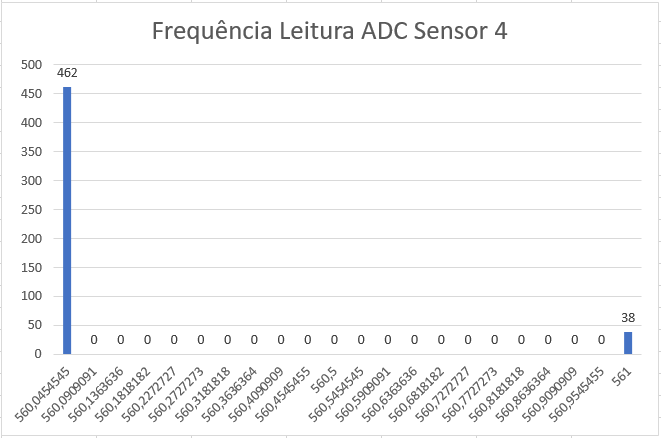


Figura 15-Frequência de ocorrência de valores ADC

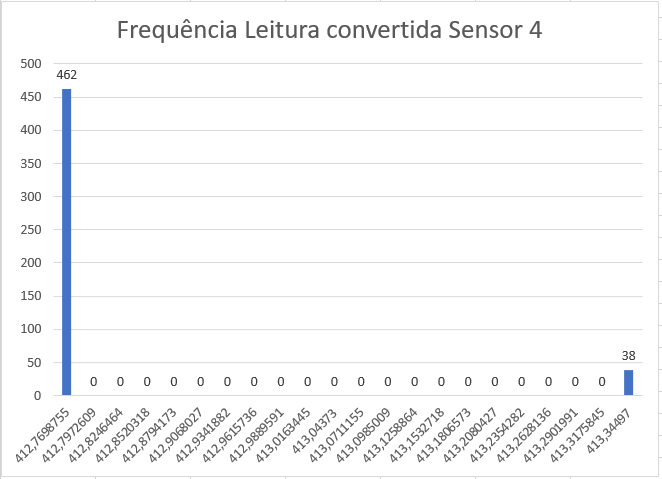


Figura 16-Frequência de ocorrência de valores ADC convertidos

Através dos gráficos nas figuras 17 e 18 pode-se ver a frequência dos valores do *pitch* e *roll* entre os valores mínimos e máximos da amostra. A saber que a gama de variação do erro é de 0,01533 graus para o *pitch* e 0,06869 graus para o *roll*.

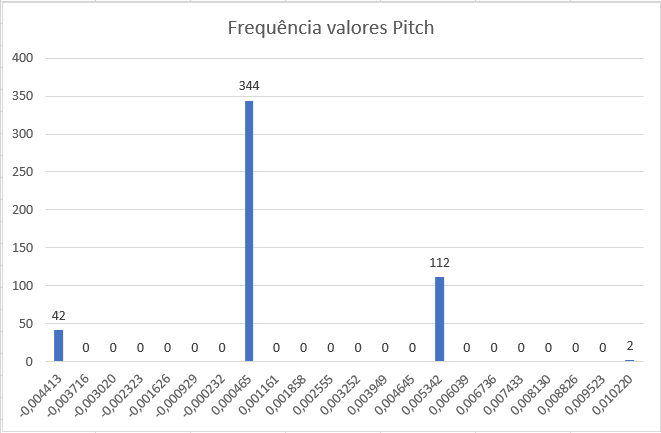


Figura 17-Frequência de ocorrência de valores *Pitch*

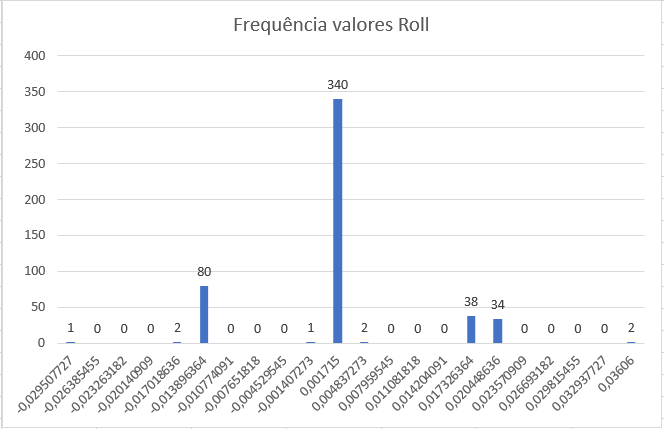


Figura 18-Frequência de ocorrência de valores *Roll*

Na tentativa de diminuir o erro do *pitch* e do *roll* foi feita, por software, uma média dos valores lidos. O resultado foi um aumento de valores de ocorrência, no entanto, a gama de erro diminuiu para 0,01148 graus no caso do *pitch* e 0,02465 graus no caso do *roll*. Os gráficos da frequência de ocorrência de valores com media de valores estão representados na figura 18 e 20.

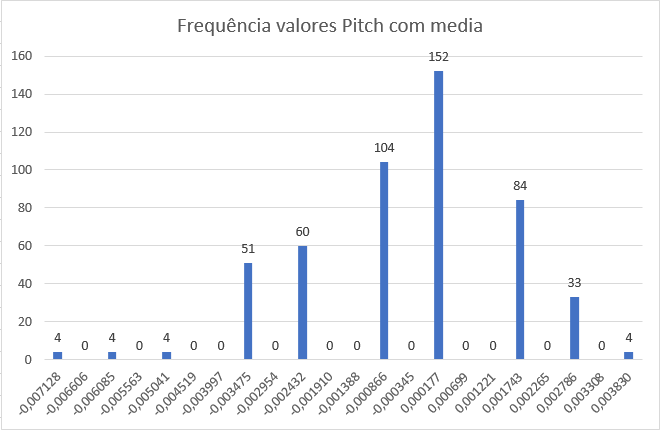


Figura 19-Frequência de ocorrência de valores *Pitch* com media de valores

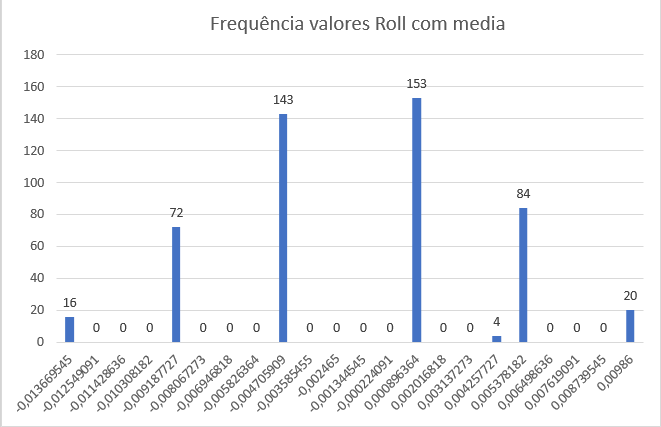


Figura 20-Frequência de ocorrência de valores *Roll* com media de valores

# Comunicação por Bluetooth

Para além da comunicação através da porta usb, há também a possibilidade de comunicar com o Arduino através de um módulo Bluetooth montado no hardware. O módulo Bluetooth comunica com o Arduino através das portas série tx rx.

Foi realizado um teste de comunicação entre o PC e o Arduino usando para isso o terminal Tera Term, O Arduino foi programado de forma a permitir a visualização de valores constantemente e a efectuar a calibração através do envio da letra “C” a partir do terminal.

Na tentativa de realizar a comunicação com um *smartphone android* foi realizado uma aplicação usando a MIT appinventor. No entanto, até à data da escrita deste relatório não foi possível realizar a ligação Bluetooth entre o modulo e o *smartphone*.

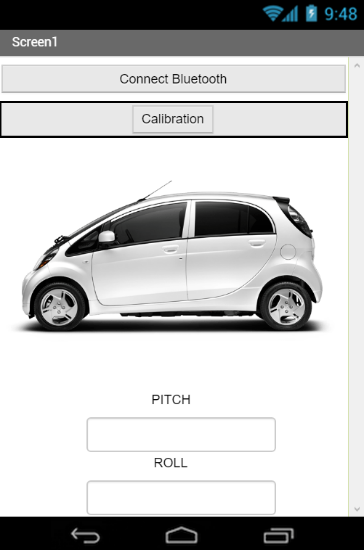


Figura 21-Aplicação android realizada na MIT appinventor

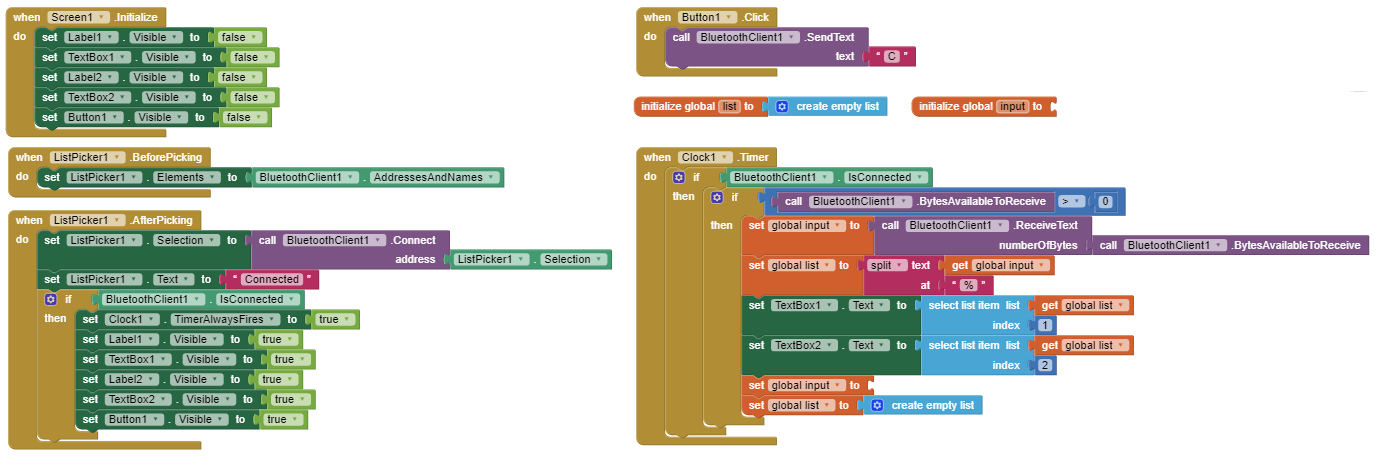


Figura 22-Diagrama de blocos do programa na MIT appinventor

# Conclusões

Os objetivos iniciais foram todos realizados, no entanto, mais testes são necessários para uma melhor compreensão dos problemas existentes e a deteção de eventuais problemas ainda não detetados. Os testes realizados foram feitos com o carro em posição estática na oficina. O teste no exterior, com o carro em andamento, permitiria obter mais informação sobre o funcionamento do sistema e eventuais melhorias a realizar. Seria interessante a comparação do inclinómetro desenvolvido com um sistema equivalente do qual se conheça a fiabilidade. Será necessário avaliar se o erro induzido devido as ADC’s e se é ou não relevante para o sistema no qual o inclinómetro irá operar.

Fica para concluir a comunicação Bluetooth a partir do smartphone que não foi conseguida com sucesso.