



**Diogo Silva Projeto de Sistema Eletrónico:
190204007 Aquisição Sinais**

Relatório do Projeto

Curso Técnico Superior Profissional em Sistemas
Eletrónicos e Computadores

Orientador

Orientador do estágio: Docente Rui Amaral

08/2021

Agradecimentos

Para a conclusão deste projeto, a minha profunda gratidão a todas as personalidades que me ajudaram e sem as quais teria sido muito mais difícil o término do mesmo.

Enumerar todos seria exaustivo, gostaria de agradecer em especial:

Ao Docente Professor Rui Amaral por me ter dado a possibilidade de elaborar este projeto à distância para conclusão da Unidade Curricular “Estágio”, por me esclarecer todas as dúvidas e dando o seu ponto de vista ao longo do desenvolvimento do mesmo.

Ao meu colega Guilherme Ravasco pela disponibilidade e colaboração de partilharmos ideias e conhecimentos ao longo deste trabalho.

Resumo

Este meu projeto tem como objetivo, desenvolver um sistema que utiliza um sensor de peso, de forma que este possa ser utilizado no braço de um robot para agarrar um objeto sem o danificar. Para que o projeto funcione como esperado, dimensionei todo o circuito, começando por calcular os valores máximos e mínimos à saída do Divisor de tensão, em seguida, amplifiquei esses valores, recorrendo a um Amplificador Operacional, depois utilizei um filtro passa-baixo, e por fim, converti o sinal analógico em digital, aplicando um Conversor de Analógico para Digital. Está pronto para ser conectado a um Microcontrolador para ser programado.

Índice

Agradecimentos	2
Resumo	3
Lista de Figuras.....	5
Lista de Tabelas.....	5
Lista de Siglas e Acrónimos	6
I. Introdução.....	7
1. Descrição de estágio.....	7
2. Estrutura do relatório.....	8
II. Caracterização da entidade de acolhimento.....	9
1. Historial	9
2. Localização	9
3. Organigrama	10
4. Caracterização do local de Projeto.....	10
III. Dimensionamento do circuito	11
1. Evolução da eletrónica	11
2. O sensor	11
3. AMPOP Não Inversor.....	15
4. Filtragem de 1ª Ordem.....	19
5. ADC.....	20
6. Exercício de teste ao dimensionamento realizado	21
IV. Simulação.....	23
1. Simulação em pspice.....	23
2. Simulação em Tinkercad.....	27
V. Orçamento	29
VI. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	30
1. Conclusão.....	30
2. Perspetivas de trabalho futuro.....	30
VII. Referências.....	31

Lista de Figuras

Figura 1 - Organigrama da EST Setúbal	10
Figura 2 – As Várias etapas.....	11
Figura 3 - Sensor FRS 402	12
Figura 4 - Relação Força- Resistência	12
Figura 5 - Divisor de Tensão e posicionamento do sensor Resistivo no braço do robot.....	13
Figura 6 - Curva à saída do divisor de tensão e com $R_M=500\Omega$	14
Figura 7 - Curva à saída do divisor de tensão e com $R_M=2K\Omega$	15
Figura 8 - Diagrama dos terminais do AMPOP LM741.....	16
Figura 9 - Esquema com o Divisor de tensão e AMPOP.....	16
Figura 10 - Comparação da tensão de saída de com e sem AMPOP	18
Figura 11 - Comparação do formato da Onda Analógica com a Onda Digital.....	20
Figura 12 - Esquema para simulação.....	24
Figura 13 – Correntes e tensões no circuito.....	24
Figura 14 - Tensão à Saída do circuito com Fonte de Alimentação de Tensão Continua.....	25
Figura 15 – Esquema do Circuito com Fonte de Corrente Alternada	26
Figura 16 - Tensão à Saída do circuito com Fonte de tensão alternada	26
Figura 17 – Montagem do circuito no programa Tinkercad	27
Figura 18 - Simulação com valor atribuído ao sensor aleatoriamente para testar o funcionamento do circuito.....	28
Figura 19 - Substituição do sensor de peso pela resistência fixa.....	28

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação entre Resistência – Peso.....	13
Tabela 2 - Orçamento.....	29

Lista de Siglas e Acrónimos

EST	Escola Superior de Tecnologias
IPS	Instituto Politécnico de Setúbal
FSR	Force Sensing Resistor
AMPOP	Amplificador Operacional
ADC	Analog Digital Converter
Vin	Voltage Input
Vout	Voltage Output
PSPICE	Program Simulation with Integrated Circuit Emphasis
IC	Integrated circuit

I. Introdução

O meu estágio foi desenvolver um projeto cujo o sistema possibilita a aplicação de um sensor de peso que, por exemplo, poderá ser utilizado no braço de um robot.

1. Descrição de estágio

São várias as funcionalidades de um braço de Robot automatizado, podendo recolher e colocar um determinado objeto numa linha de montagem, ou com mais precisão, a montagem de componentes de nanotecnologia, cirurgias. As indústrias com automação mais avançadas visando a produção em massa, utilizam robots com pinças e estas não só agarram, pegam e colocam objetos numa nova posição, pois, estão equipadas com capacidades de deteção para se adaptarem a ambientes em mudança, outro requisito importante das pinças é a capacidade de agarrar e segurar com segurança objetos frágeis de rigidez e de várias formas.

A vantagem de se utilizar sensores de Resistência Sensível à Força (FSR) é para agarrar objetos variados de forma a fazer uma força de pressão mínima ao agarrar para não danificar o objeto.

O projeto que desenvolvi pode ser aplicado no braço do robot, tem como base vários simples circuitos no qual fui fazendo por etapas.

Após de ter escolhido este sensor, recorri aos meus apontamentos da Unidade Curricular “Aquisição e Processamento de Sinais”. O primeiro circuito que optei por utilizar foi um divisor de tensão. Este divisor permite que a tensão de entrada fique com a proporção da tensão de saída. Calculei também os valores máximos e mínimos à saída desse circuito, para depois dar início à montagem amplificadora, para funcionar corretamente, houve necessidade de ampliar o sinal de modo a ficar compreendido entre os 0 e 5 Volts, logo de seguida, utilizou-se um filtro com uma frequência baixa, pois, não havia necessidade de uma frequência muito elevada, optei pela frequência de 1hz e frequência de corte de 10hz, depois, o circuito integrado (ADC) *Analog Digital Converter*, vai receber a tensão ampliada anteriormente compreendida entre 0 a 5 Volts e converter a mesma em sinal binário para que o Microprocessador possa processar os dados. Por fim, recorri a softwares de simulação de circuitos para confirmar o trabalho realizado.

A identidade responsável pelo meu estágio foi a Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, o docente responsável foi o Professor Rui Amaral, durante os meses de junho, julho, agosto e com término em setembro. Durante este período, trabalhei sempre à distância e abdiquei do meu tempo livre para concluir este presente projeto.

2. Estrutura do relatório

Este presente relatório está dividido por capítulos:

O primeiro e o atual, é a Introdução, onde se encontra um breve resumo do trabalho desenvolvido.

O segundo, a caracterização da Entidade de Acolhimento, onde inclui uma breve história sobre a identidade de estágio.

O terceiro, o Dimensionamento do Circuito, procurou-se explicar pormenorizadamente as etapas e os respetivos cálculos.

O quarto, as simulações, foi possível testar o circuito dimensionado anteriormente na prática recorrendo a programas de terceiros para o efeito.

O quinto, o orçamento, o custo estimado a partir da soma de todos os componentes utilizados neste projeto.

Por fim, as conclusões sobre a realização deste projeto.

II. Caraterização da entidade de acolhimento

A entidade responsável pela realização do meu projeto foi a EST de Setúbal do Campus do IPS.

1. Historial

O IPS foi fundado a 14 de outubro de 1979, com o intuito de formar uma nova Rede de Ensino Superior Politécnico, começando pela criação de 2 escolas, sendo elas, a Escola Superior de Tecnologias de Setúbal e a Escola Superior de Educação, depois foi fundado os Serviços de Ação Social só em 1993. Os Serviços de Ação Social são uteis pois facultam alguns serviços de apoio a estudantes mais carenciados como por exemplo Bolsas de Estudo, para que estes possam concluir o grau de ensino pretendido.

Atualmente, o Campus do IPS é constituído por 5 escolas.

2. Localização

O IPS está instalado em 2 cidades: Setúbal e Barreiro.

Na Cidade do Barreiro, apenas encontra-se a Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, enquanto que em Setúbal situa-se tudo o resto, ou seja, os Serviços Centrais e as restantes 4 escolas.

3. Organigrama

O Organigrama da EST de Setúbal é o seguinte:

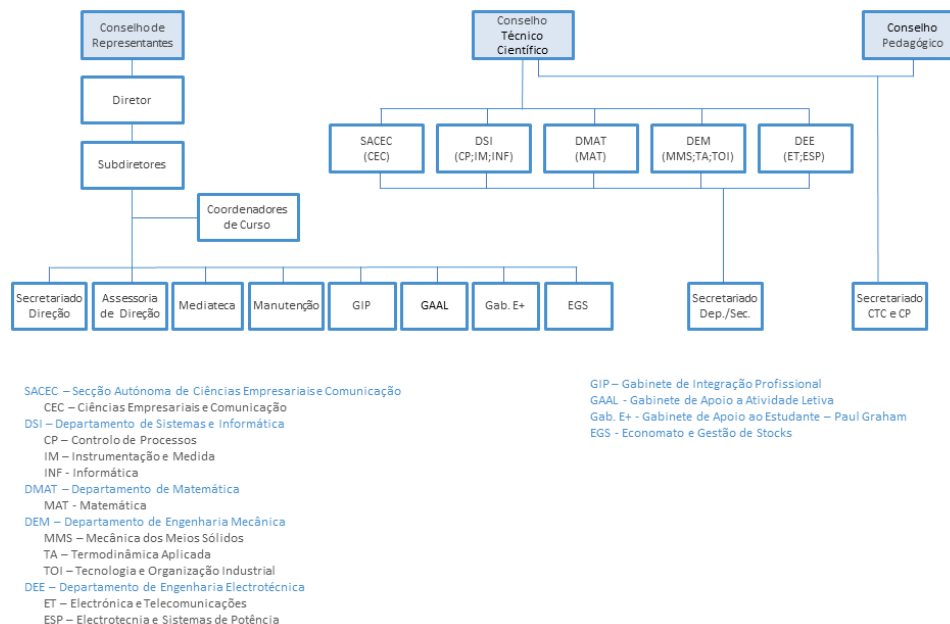


Figura 1 - Organigrama da EST Setúbal

4. Caracterização do local de Projeto

O projeto foi, na sua integra realizado em casa no meu computador, com reuniões semanais com o professor responsável pelo estágio para avaliar o meu trabalho.

É importante realçar que não tive qualquer oportunidade de trabalhar com componentes físicos, apenas virtual, devido à Covid-19 e os efeitos da mesma, mas como se trata de um projeto, satisfiz os meus objetivos.

III. Dimensionamento do circuito

1. Evolução da eletrônica

Desde o início da Revolução Industrial do século XVIII, as máquinas têm vindo cada vez mais a substituir o trabalho do homem, e como tal, também houve uma evolução da eletrônica.

Os primeiros passos da eletrônica foram, por volta da era da Revolução Industrial, e também, graças à evolução da eletricidade, que veio dar um grande impulso no setor da indústria, havendo cada vez menos a necessidade da intervenção do trabalho humano nas grandes fábricas. Com o avanço da eletrônica, da automação e da nanotecnologia, já é possível fazer com que robots autónomos, sem qualquer intervenção humana, possam mover peças de diferentes formatos de um local para o outro.

O meu projeto pode ser aplicado no braço de um robot para agarrar um objeto sem partir e sem o deixar cair, foi elaborado em 4 fases, representadas na figura seguinte. Estas 4 etapas foram desenvolvidas e são as referidas ao longo do projeto, no qual utilizei vários componentes eletrónicos, e para que funcionem como pretendido tive de efetuar os respetivos cálculos.

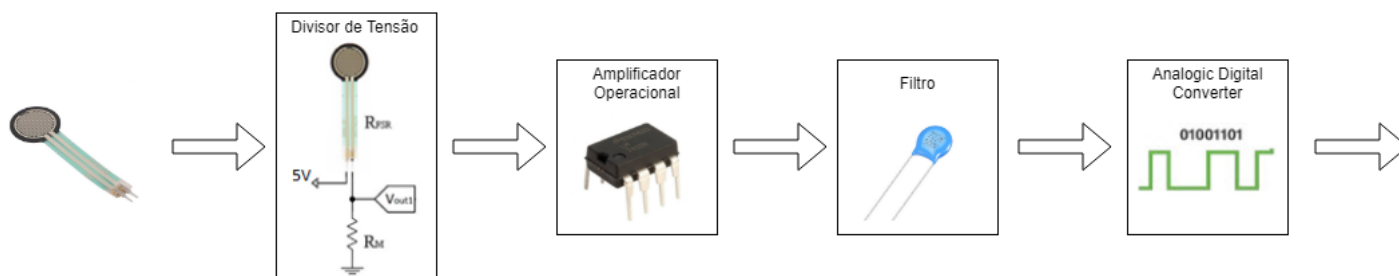


Figura 2 – As Várias etapas

2. O sensor

O sensor que escolhi foi o modelo FSR 402 (Force Sensing Resistor, traduzido, Resistência de deteção de força), da fabricante Norte Americana Interlink Electronics, Inc. Escolhi este modelo porque é muito fino, apenas 0.55 milímetros de altura e tem de largura 18.28mm, sendo que apenas 12.7mm é área útil, que corresponde a meia polegada.

Pode ter enumeras aplicações na área da robótica, ou, como por exemplo permite detetar pressão de ação humana ou peso.

A figura seguinte mostra o sensor utilizado.



Figura 3 - Sensor FRS 402

Este sensor, como o nome indica, é um sensor Resistivo, logo, é um sensor cujo o valor da resistência interna varia com uma força que lhe é aplicada.

A figura seguinte demonstra precisamente esse fenómeno, a variação da resistência interna com a força.

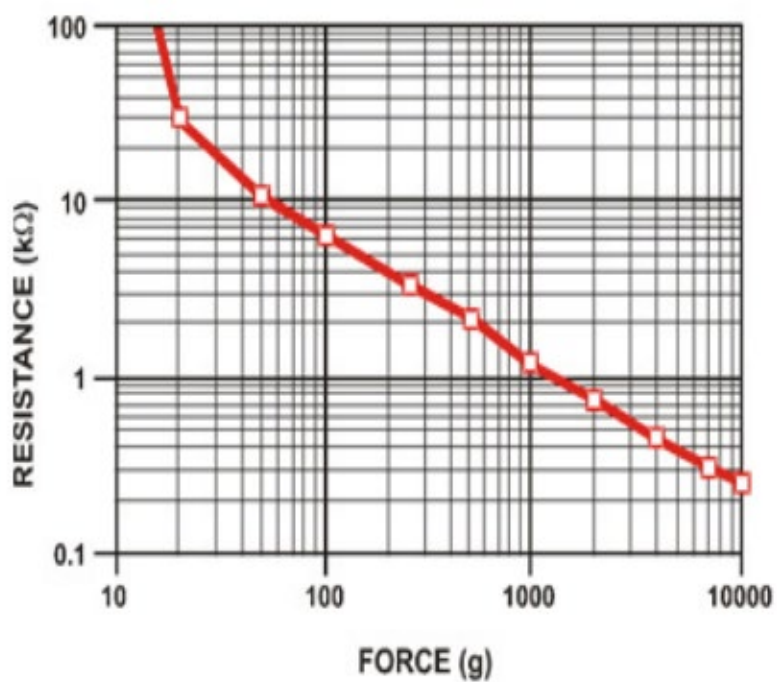


Figura 4 - Relação Força- Resistência

Tabela 1 - Relação entre Resistência – Peso

1g	10M Ω
10g	1M Ω
100g	7K Ω
1Kg	2K Ω
5Kg	800 Ω
10Kg	300 Ω

Após reunir alguns valores da relação Resistência – Peso do sensor como mostra a tabela 1, utilizei um esquema elétrico simples, de nome divisor de tensão como ilustra a figura abaixo.

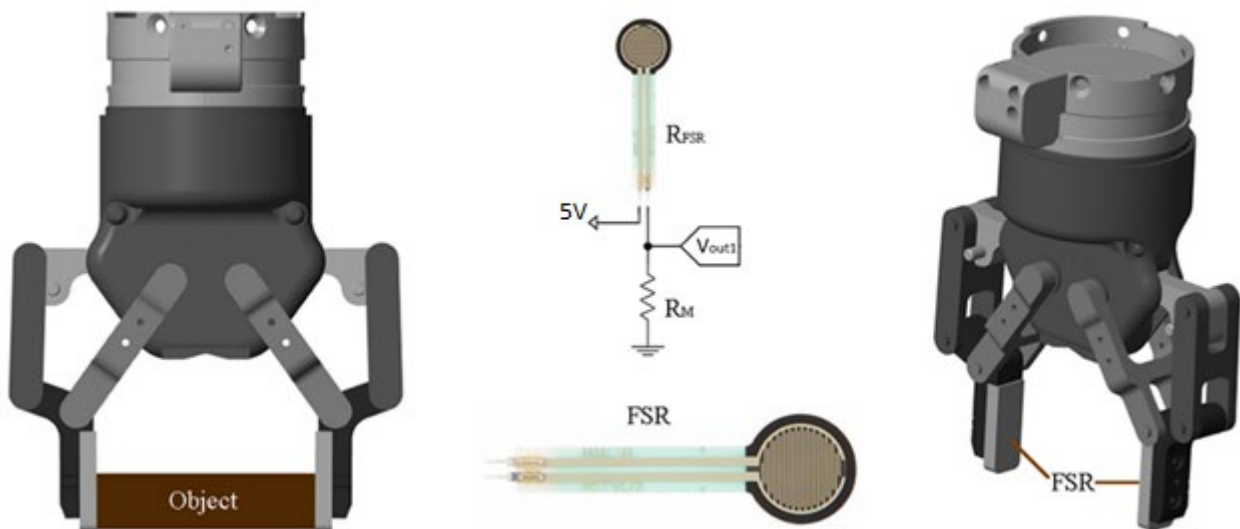


Figura 5 - Divisor de Tensão e posicionamento do sensor Resistivo no braço do robot

Depois de pensar no esquema elétrico, comecei por calcular os Valores Máximos e Mínimos na Saída do Circuito baseado na figura 3, sendo que a fórmula do divisor de tensão é constituída pela equação (1):

$$V_{out1} = \frac{R_M}{R_M + R_{FSR}} V_{in} \quad (1)$$

Logo, para $V_{out1 \min}$ considerei 0 gramas, R_{FSR} equivale aproximadamente a 10 Mega Ω , a tensão de entrada é 5 Volts e para R_m arbitrei o valor de 500 Ω , pela fórmula fica que:

$$V_{out1\ min} = \frac{500}{500 + 10_M} 5 (=) V_{out1\ min} = \frac{2500}{10000500}$$

$$(=) V_{out1\ min} = 2,5 * 10^{-4} V = 250 \mu V \quad (2)$$

Concluí que para $V_{out1\ min}$, a tensão é praticamente 0Volts

Para $V_{out1\ max}$ considere 10 Quilogramas pois, é o máximo que o sensor suporta e porque poderá ser utilizado numa zona industrial, local onde haverá ser preciso agarrar materiais pesados, como por exemplo, metais ou material de construção civil.

O valor para R_{FSR} corresponde a 300Ω , a tensão de Entrada, é igual, 5 Volts e para R_m também não se altera. Pela fórmula fica que:

$$V_{out1\ max} = \frac{500}{500 + 300} 5 (=) V_{out1\ max} = \frac{2500}{800} (=) V_{out1\ max} = 3.1V \quad (3)$$

Conclui-se que:

$$\begin{cases} V_{out1\ min} = 250 \mu V \\ V_{out1\ max} = 3.1V \end{cases}$$

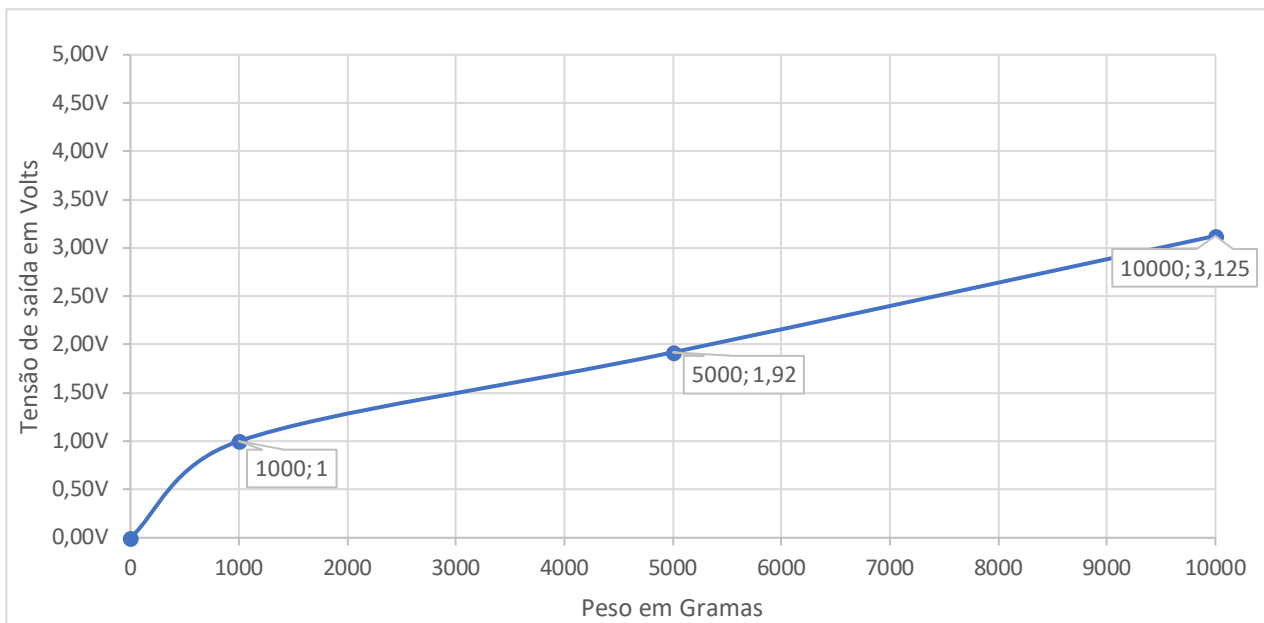


Figura 6 - Curva à saída do divisor de tensão e com $R_M=500\Omega$

À Resistência R_m foi atribuída o valor de 500Ω porque quanto menor for o valor da resistência, o gráfico tende a ficar mais linear, também fica menos sensível, consequentemente, menor será a tensão de saída, neste caso, a tensão máxima é de 3.1 Volts quando o sensor estiver com 10 Kg, agora a sua tensão precisa de ser amplificada para ficar compreendida entre os 0 Volts e os 5Volts para o ADC.

Repliquei os cálculos novamente, mas, agora com $R_m = 2K\Omega$, com o propósito de observar a curva com o valor mais elevado e confirmei o que tinha dito anteriormente, a curva não é tão linear, é mais sensível e a tensão de saída é superior.

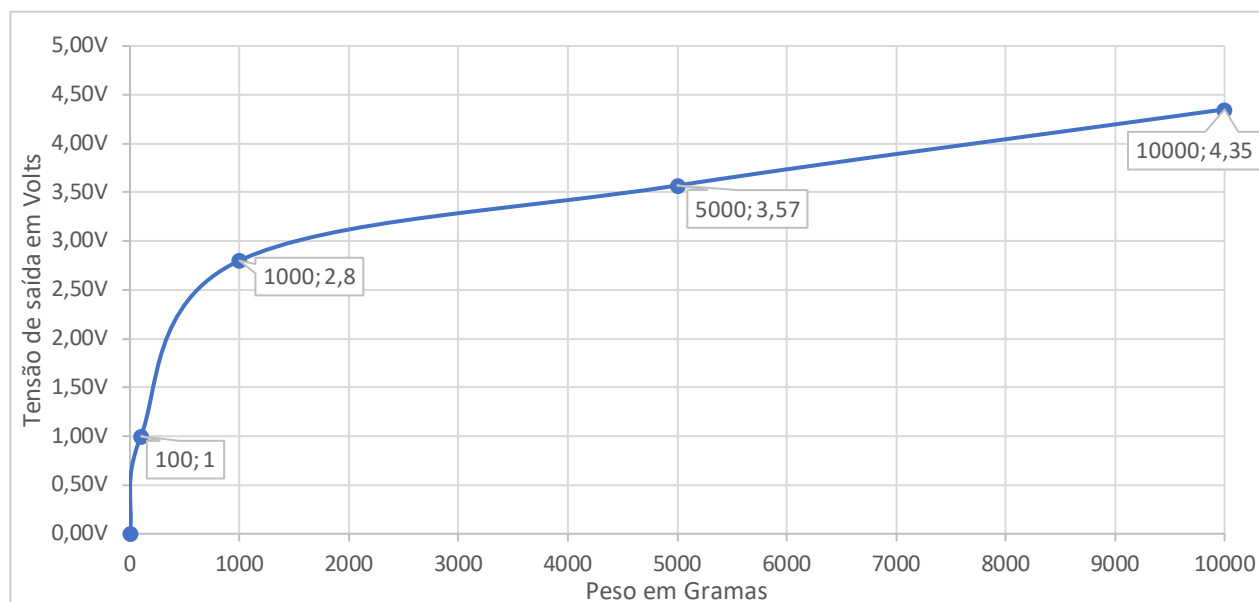


Figura 7 - Curva à saída do divisor de tensão e com $R_M = 2K\Omega$

3. AMPOP Não Inversor

Um Amplificador Operacional, também pode de ser chamado pela sua abreviação de AMPOP, é um Circuito Integrado concebido principalmente para a realização de cálculos analógicos. Pode ter um ganho de tensão muito elevado, tipicamente da ordem de 10^5 , correspondendo a 100dB.

Embora, inicialmente fosse concebido para executar operações Matemáticas como adição, subtração, integração, derivadas, etc., utilizando componentes externos como resistências e condensadores para criar um mecanismo de feedback necessário, hoje em dia pode ter enumeras utilizações como amplificador e para muitas outras funções como filtros, comparadores, etc.

A minha escolha recaiu sobre o modelo LM741 porque além de ser muito popular, está incluído nas bibliotecas dos programas utilizados e é de fácil utilização.

Foi fabricado pela primeira vez por semicondutores Fairchild no ano de 1963. O número 741 não é aleatório, significa que este IC tem 7 pinos funcionais, 4 pinos capazes de receber entrada e 1 pino de saída.

$$V_{out2\ max} = Ganho * V_{out1\ max} \quad (4)$$

Logo,

$$\begin{aligned} (=) 3.1 * Ganho &= 5 \\ (=) Ganho &= \frac{5}{3.1} \\ (=) Ganho &= 1.61 \end{aligned} \quad (5)$$

Sabendo que o Ganho é 1.61, portanto, arbitra-se o valor de R_{in} de $1K\Omega$ para saber R_F , ficando:

$$Ganho = 1 + \frac{R_F}{R_{in}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} (=) \frac{R_F}{R_{in}} &= Ganho - 1 \\ (=) R_F &= (Ganho - 1) R_{in} \\ (=) R_F &= (1.6 - 1) 1K \\ (=) R_F &= 0.6 * 1000 \\ (=) R_F &= 600\Omega \end{aligned} \quad (7)$$

Dimensionado o amplificador, é possível calcular os valores máximo e mínimo da tensão à saída.

Calculando o $V_{out2\ max}$ fica:

Pela equação (4), o Ganho ainda pode ser substituído pela seguinte equação

$$1 + \frac{R_F}{R_{in}} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} (=) V_{out2\ max} &= \left(1 + \frac{R_F}{R_{in}}\right) V_{out1\ max} \\ (=) V_{out2\ max} &= \left(1 + \frac{600}{1K}\right) 3.1 \\ (=) V_{out2\ max} &= (1 + 0.6) 3.1 \\ (=) V_{out2\ max} &= (1.6) 3.1 \\ (=) V_{out2\ max} &= 4.96\ Volts \end{aligned} \quad (9)$$

Agora, tenho de descobrir o valor de $V_{out2\ min}$:

$$\begin{aligned} (=) V_{out2\ min} &= \left(1 + \frac{R_F}{R_{in}}\right) V_{out1\ min} \\ (=) V_{out2\ min} &= \left(1 + \frac{600}{1K}\right) 250 * 10^{-6}V \\ (=) V_{out2\ min} &= (1.6) 250 * 10^{-6}V \\ (=) V_{out2\ min} &= 4 * 10^{-4} Volts = 400\mu Volts \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{cases} V_{out2\ min} = 400\mu V \\ V_{out2\ max} = 4.96V \end{cases}$$

O resultado obtido mostra que na saída do AMPOP terá, no máximo 4.96 Volts, o que é aceitável pois, se fosse superior a 5 Volts o ADC não ia ler esses valores, mas, como é inferior, o meu sinal não utiliza a escala completa do conversor.

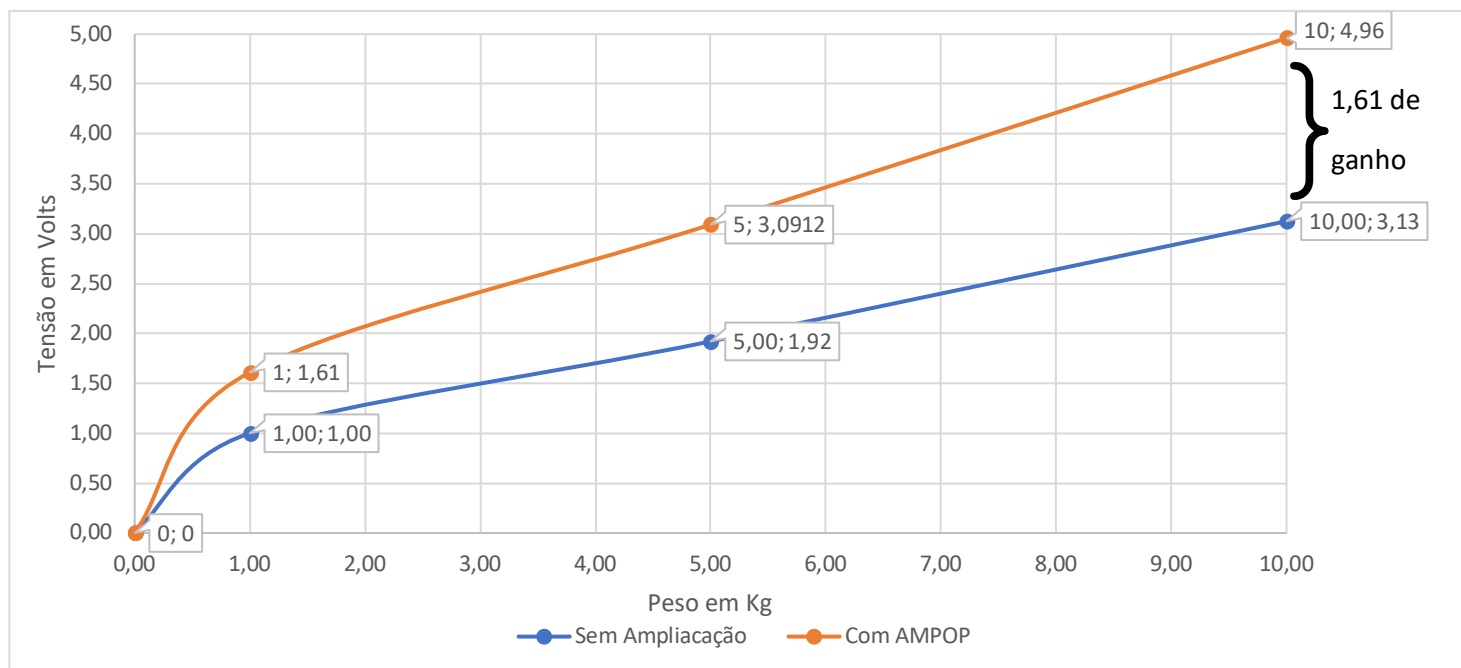


Figura 10 - Comparação da tensão de saída de com e sem AMPOP

4. Filtragem de 1ª Ordem

Para saber o que é a frequência, pensei da seguinte forma: Quantas vezes por segundo a mão vai fechar e abrir para agarrar o objeto?

x vezes por segundo = frequência em Hertz.

Dimensionou-se para uma frequência de 1hz e uma frequência de corte de 10hz, lembrando que a frequência de amostragem tem de ser 2x frequência de corte.

A equação (11) representa a fórmula para calcular a frequência de corte.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi * R_F * C} \quad (11)$$

$$(=)C = \frac{1}{2\pi * R_F * f_0}$$

$$(=)C = \frac{1}{2\pi * 600 * 10} (=) C = \frac{1}{37699} (=) C = 2.65 * 10^{-5}F = 26.5\mu F \quad (12)$$

Como não existe condensador de valor $26.5\mu F$, arredonda-se para $30\mu F$, refazendo os cálculos para verificar a frequência, fórmula 13:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi * R_F * C}$$

$$(=)f_0 = \frac{1}{2\pi * 600 * 3 * 10^{-5}} \quad (13)$$

$$(=)f_0 = \frac{1}{0.1131}$$

$$(=)f_0 = 8.84Hz$$

Confirma-se que o valor do condensador pode ser de $30\mu F$, pois, o valor da frequência de corte alterou ligeiramente, mas não tem problema, apenas, como o nome indica, a frequência de corte desce para 8.84Hz.

5. ADC

O conversor analógico para digital, também conhecido pela sua abreviação ADC é outro Circuito Integrado que, como o nome indica, converte o sinal analógico e a sua saída é o sinal digital, normalmente, os sinais de entrada são a nível de tensão ou intensidade de corrente elétrica.

Estes conversores são importantes quando se trabalha com outros circuitos digitais, como por exemplo, microprocessadores, microcontroladores, DSP's ou Portas Lógicas.

Quanto maior for o número de bits que o ADC terá, mais precisão terá, neste caso é de 10 bits.

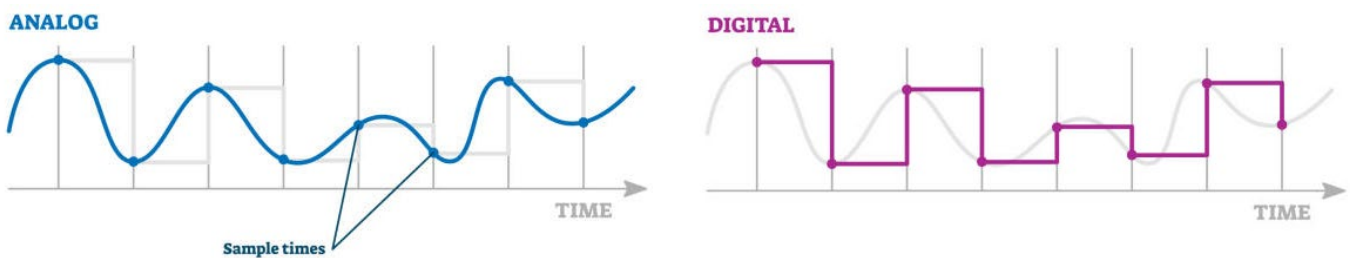


Figura 11 - Comparação do formato da Onda Analógica com a Onda Digital

Pelo o Teorema de Nyquist–Shannon, $F_s \geq 2 \times F_{\text{maxsinal}}$

Ou seja, a Frequência de amostragem (F_s) tem de ser pelo menos 2 vezes superior à frequência máxima do sinal ou à frequência de corte do filtro passa-baixo, quanto ele exista. Sendo este o caso, F_s será de 20Hz. Portanto, o período de amostragem é de:

$$T_s = \frac{1}{F_s} (=) T_s = \frac{1}{20} (=) T_s = 0.05s (=) T_s = 50ms \quad (14)$$

Gama de fim de escala:

$$\begin{aligned} V_{FSR} &= V_{i \text{ max}} - V_{i \text{ min}} \\ (=) V_{FSR} &= 4.96 - 400 \times 10^{-6} (=) V_{FSR} = 4.96V \end{aligned} \quad (15)$$

Razão Analógica:

$$RA = \frac{V_{FSR}}{2^{n^{\circ} \text{ bits}}} (=) RA = \frac{4.96}{2^{10}} (=) RA = 4.8 \times 10^{-3} V (=) RA = 4.8438mV \quad (16)$$

Valor de Tensão do fim de escala

$$\begin{aligned} V_{FSR} &= V_{FSR} - 1 \text{ LSB}, \text{ como, } 1 \text{ LSB} = \text{RA} \\ V_{FSR} &= 4.96 - 4.8 * 10^{-3} (=) V_{FSR} = 4.9552V \end{aligned} \quad (17)$$

Erro de quantificação máximo:

$$EQ.max = \frac{1}{2} 4.8 * 10^{-3} (=) EQ.max = 2.4 * 10^{-3} (=) EQ.max = 2.4\text{mV} \quad (18)$$

Nível de quantificação máximo:

$$NQmax = \frac{Vi}{\text{RA}} (=) NQmax = \frac{4.96}{4.8438 * 10^{-3}} (=) NQmax = 1024 \quad (19)$$

6. Exercício de teste ao dimensionamento realizado

A situação prática serviu para confirmar o dimensionamento do circuito na sua íntegra.

Comecei por pensar numa situação real em que o sensor fazia uma força de aperto equivalente a 5Kg.

De acordo com a figura 4 e tabela 1, 5Kg corresponde aproximadamente a 800Ω

$$\begin{aligned} V_{out1} &= \frac{R_M}{R_M + R_{FRS}} V_{in} \\ (=) V_{out1} &= \frac{500}{500 + 800} 5 \\ (=) V_{out1} &= \frac{2500}{1300} (=) V_{out1} = 1.9V \end{aligned} \quad (20)$$

A tensão de saída do Divisor de Tensão é de 1.9V o que corresponde a um valor abaixo do máximo de saída, que é 3.1V, agora é amplificar.

$$\begin{aligned}
 V_{out2} &= \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) V_{out1} \\
 (=) V_{out2} &= \left(1 + \frac{300}{500}\right) 1.9 \\
 (=) V_{out2} &= (1 + 0.6) 1.9 \\
 (=) V_{out2} &= (1.6) 1.9 (=) V_{out2} = 3 \text{ Volts}
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

A tensão de saída do AMPOP é de 3 Volts, o que é novamente um valor aceitável porque está abaixo dos 4.96V que foi o máximo estipulado.

$$NQ_{max} = \frac{Vi}{RA} (=) NQ_{max} = \frac{3}{4.8 * 10^{-3}} (=) NQ_{max} = 625
 \tag{22}$$

625 em binário = 1001110001

$$\begin{aligned}
 EQ_{max} &= Nq * RA - Vi (=) EQ_{max} = 625 * 4.8 * 10^{-3} - 3 (=) EQ_{max} \\
 &= 3 - 3 (=) EQ_{max} = 0V
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

Significa que o output binário do ADC será 1001110001, em decimal a quantificação corresponde à nº625, de acordo com a equação 22, e não tem erro de quantificação como mostra a equação 23.

Nota: Escolheu-se 5Kg que é metade do intervalo do sensor, logo, o seu output devia de ser também metade, mas, não é porque o gráfico não é totalmente linear.

IV. Simulação

1. Simulação em pspice

Para a simulação, utilizei o programa chamado PSPice.

PSPICE é um programa de simulação assistido por computador que permite desenhar um circuito e depois simular, como este é um dos seus principais objetivos, é amplamente utilizado por engenheiros eletrotécnicos para construir um circuito e depois testar a forma como esse circuito se irá comportar. PSPICE significa Program Simulation with Integrated Circuit Emphasis (Simulação de Programa com Ênfase de Circuito Integrado).

O Laboratório de Investigação Eletrónica da Universidade da Califórnia desenvolveu-o e tornou-o disponível ao público em 1975.

É um programa muito popular devido à sua interface de fácil utilização, extensões que suportam a modelação de circuitos digitais, e a sua versão básica sem custos.

PSPICE é um programa de uso geral concebido para uma vasta gama de simulação de circuitos, incluindo a simulação de circuitos não lineares, linhas de transmissão, ruído e distorção, circuitos digitais, circuitos mistos digitais e analógicos. Pode realizar análise DC, análise sinusoidal (AC) como aconteceu neste projeto.

Visto que na biblioteca do programa não conta nenhum sensor de força, utilizei uma resistência para simular o efeito e o resultado foi o esperado.

A figura seguinte representa o esquema preparado para iniciar a simulação.

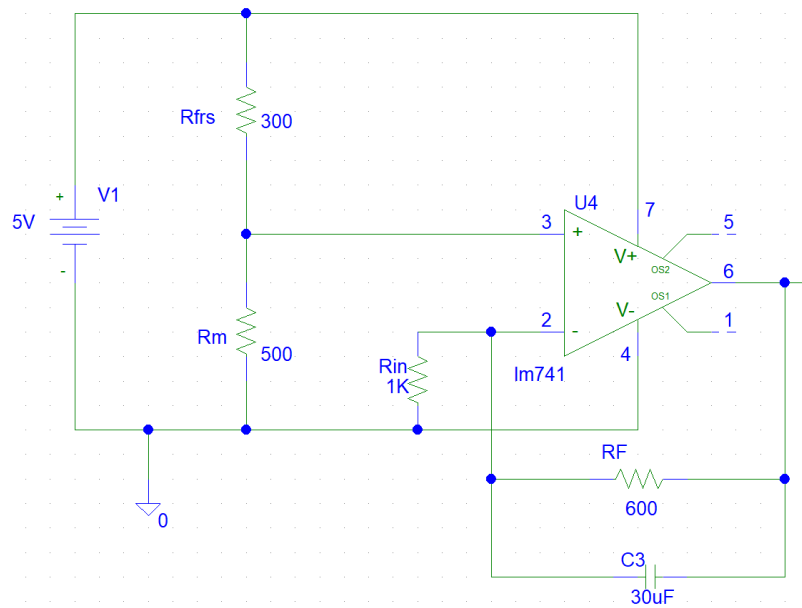


Figura 12 - Esquema para simulação

O software permite em tempo real mostrar as tensões e correntes que circulam em cada malha.

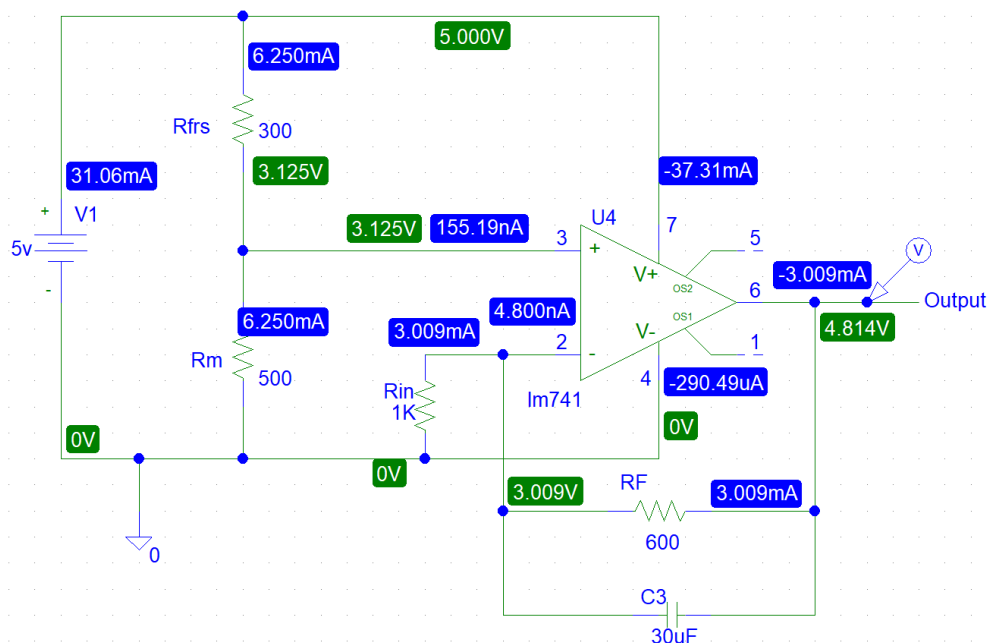


Figura 13 – Correntes e tensões no circuito

Mas não permite observar o comportamento do Filtro dimensionado na sua simulação básica e rápida, é necessário ativar a função designada por “Transient”. Com esta funcionalidade ativada, é mostrado ao utilizador um gráfico, onde é possível observar as diferentes ondas no tempo, caso existam, mas, nesta simulação não tal não se verificou.

Neste caso, o gráfico é linear porque a Fonte de Alimentação e o sensor têm valores constantes, enquanto tiverem os mesmos valores, o gráfico do circuito permanecerá igual como ilustra a figura seguinte.

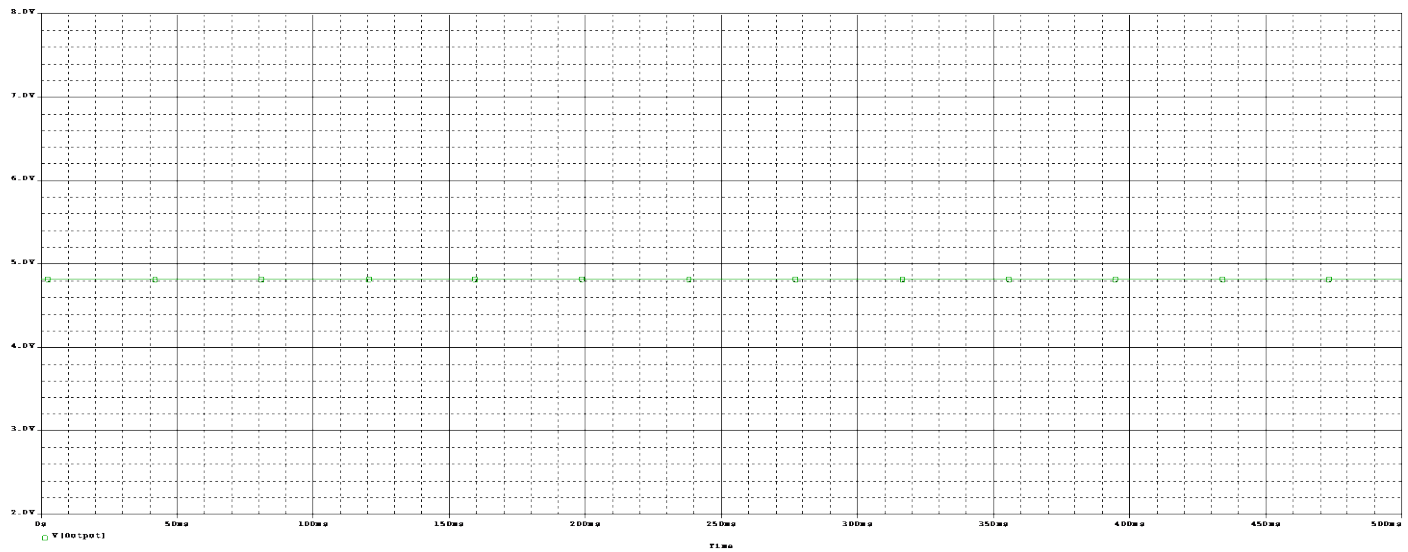


Figura 14 - Tensão à Saída do circuito com Fonte de Alimentação de Tensão Continua

Agora, foi trocada a Fonte de Alimentação de Tensão Continua que alimentava todo o circuito por uma Fonte de Alimentação de Tensão Alternada e o resultado é completamente diferente como se pode constatar na figura 16.

Antes de correr a simulação com as alterações, foi necessário ativar outra função do programa utilizado de nome “AC Sweep”.

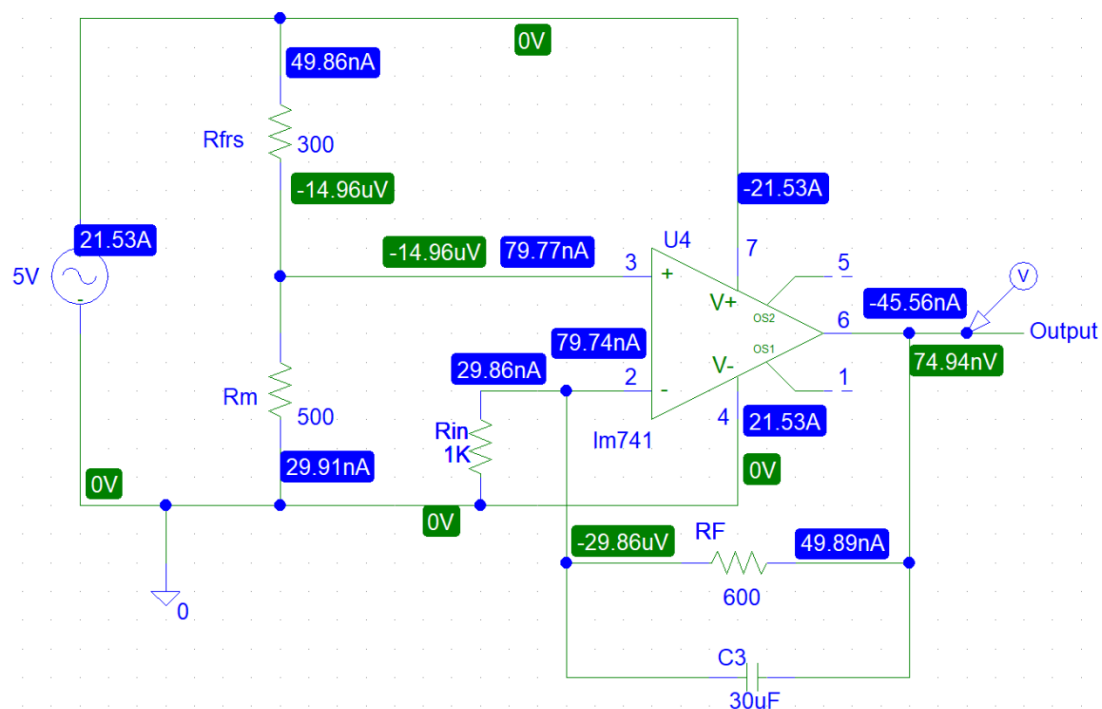


Figura 15 – Esquema do Circuito com Fonte de Corrente Alternada

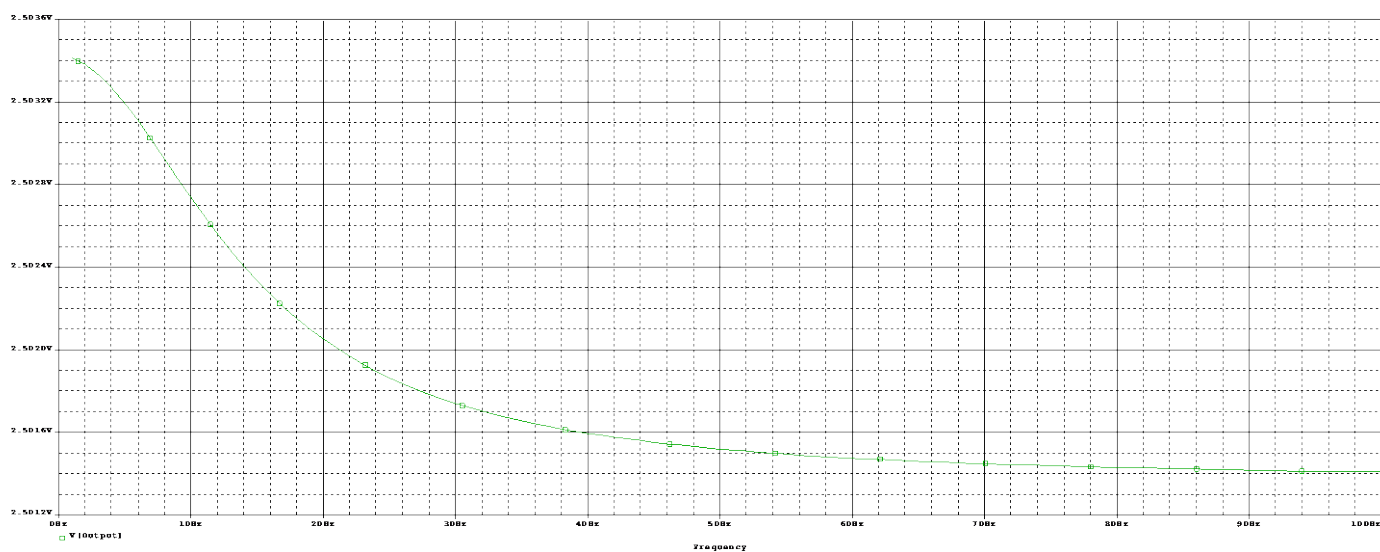


Figura 16 - Tensão à Saída do circuito com Fonte de tensão alternada

2. Simulação em Tinkercad

Utilizei o site Tinkercad porque simula a montagem de um circuito eletrônico em breadboard.

Um voto contra é que não tem muitos componentes de eletrônica, mas, a favor, o programa inclui o sensor que estou a utilizar, o problema é que a força do mesmo é até 10 N (1Kg), mas, se utilizar uma resistência fixa de 300Ω , quase atinge o valor limite de 5 Volts, como planeado, logo, verifico que a montagem está correta e o circuito, mais uma vez está a funcionar na perfeição.

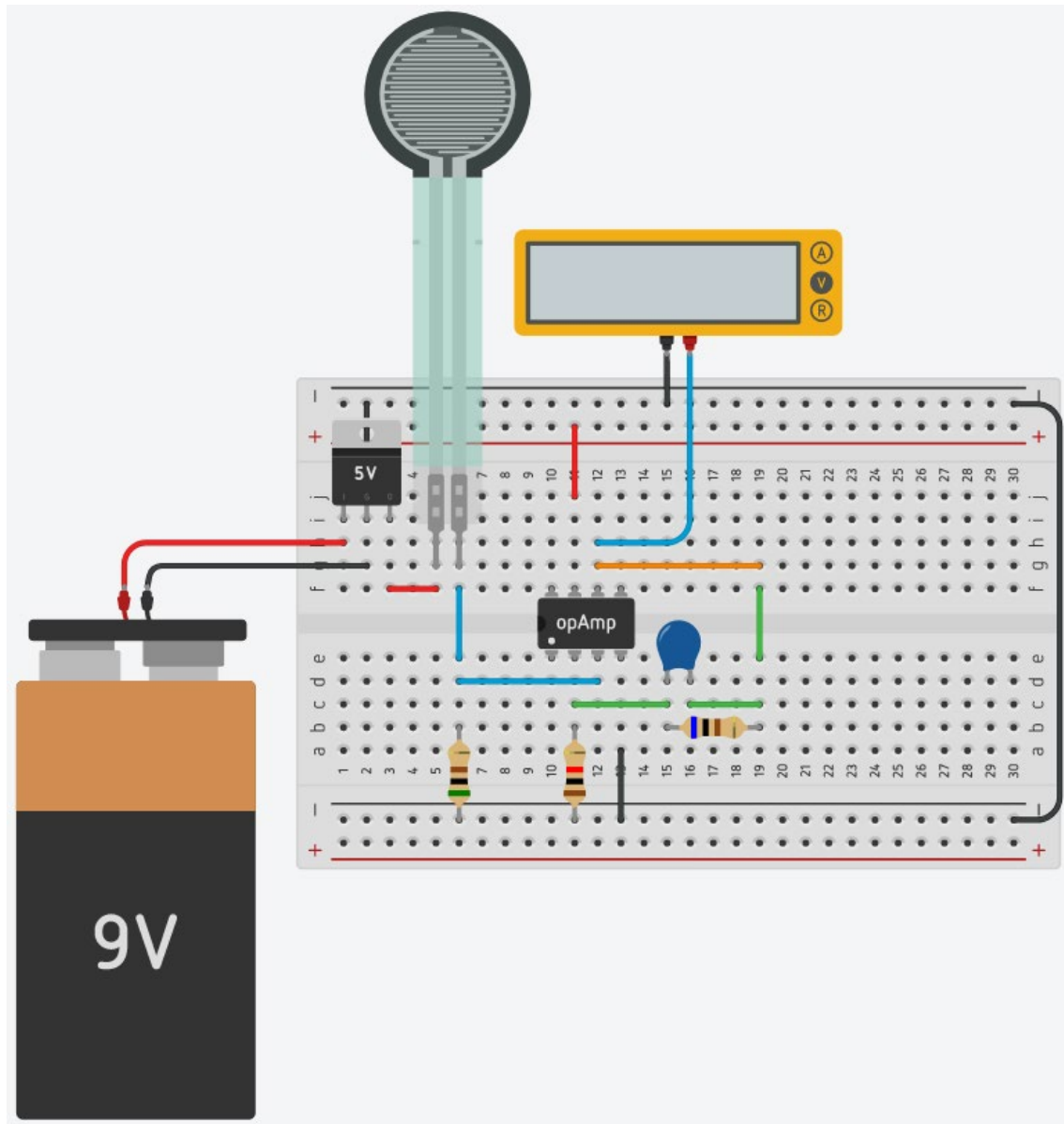


Figura 17 – Montagem do circuito no programa Tinkercad

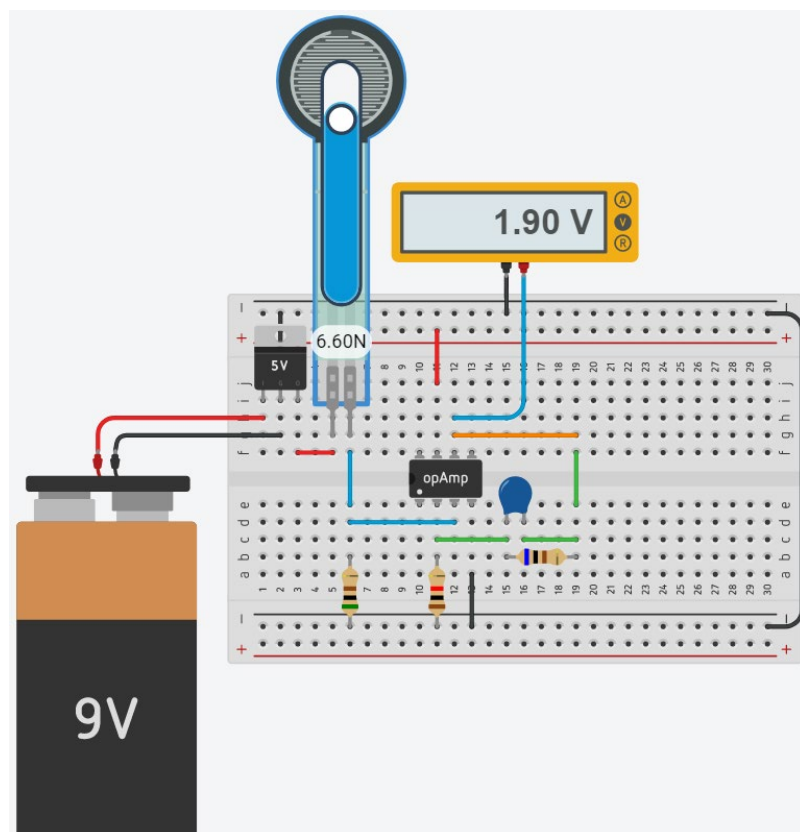


Figura 18 - Simulação com valor atribuído ao sensor aleatoriamente para testar o funcionamento do circuito

A figura seguinte, substitui o sensor de peso por uma resistência fixa de 300Ω para observar o valor máximo à saída do AMPOP, como referido anteriormente.

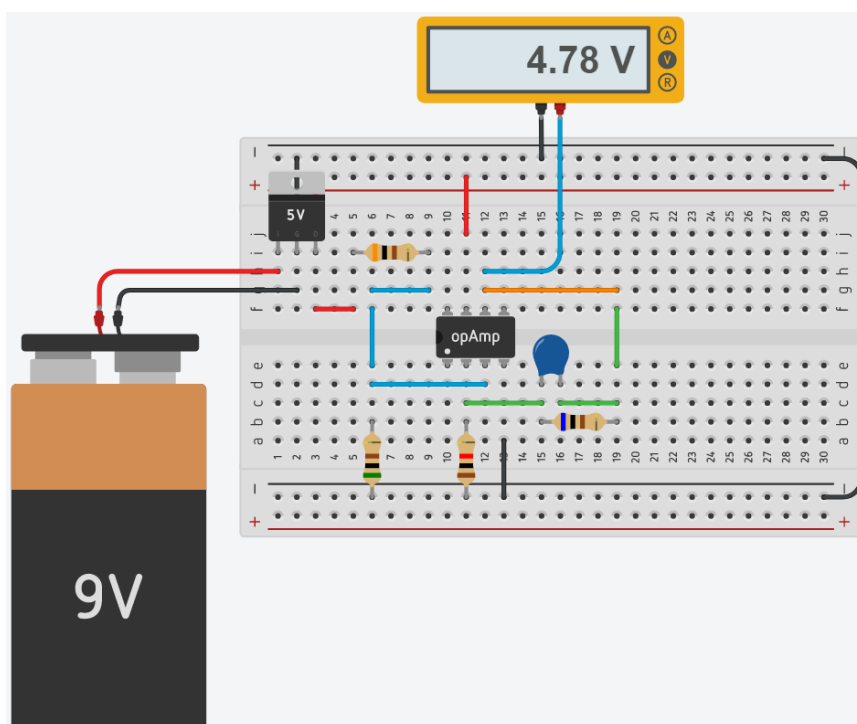


Figura 19 - Substituição do sensor de peso pela resistência fixa

V. Orçamento

O orçamento seguinte foi realizado consoante os componentes utilizados no projeto, teve um custo total de 30,92€ como se pode constatar na tabela número 2.

Tabela 2 - Orçamento

Item	Qtd	Custo	Site
Sensor FSR 402	1	11,00€	PTRobotics
Breadboard 400 points	1	4,31€	PTRobotics
Resistência 1k Ohm 1/4W	1	0,10€	Curto-Circuito
Resistência 500 Ohm 1W	1	0,37€	MixTrónica
Resistência 600Ohm, 600mW	1	0,14€	Farnell
Conjunto de 40 cabos de ligação Jumper macho-macho 300mm	1	4,62€	Mauser
Regulador De Tensão 7805 para 5V	1	0,75€	EletroFun
Pilha alcalina 9V 6LR61 - Duracell Plus Power MN1604	1	3,55€	Mauser
IC AMPOP 741	1	1,27€	Mauser
Condensador 30 μF	1	2,10€	Digi-Key
MCP3002 - 2-Channel 10-Bit ADC With SPI Interface	1	2,71€	PTRobotics
Total		30,92 €	

Uma alternativa à bateria de 9 Volts é uma [fonte de alimentação](#) que se liga diretamente à rede elétrica, assim não há preocupações com o acabar da bateria.

VI. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

1. Conclusão

Em suma, este projeto teve imensa importância para completar a formação que realizei ao longo destes dois anos de curso, nomeadamente, aprofundei os meus conhecimentos sobre Aquisição e Processamento de Sinais e todas as suas fases até chegar ao Microprocessador são importantes.

Ao trabalhar em casa, tive a vantagem de reduzir as minhas despesas com transportes, conseguindo aproveitar ao máximo as horas despendidas no trajeto. Atendendo que ainda estamos numa fase de restrições devido à Pandemia, tive a oportunidade de estar mais confinado, reduzindo a propagação do vírus.

2. Perspetivas de trabalho futuro

Além da eletrónica, este projeto este projeto abrange ainda a parte de física, ou seja, envolve peso, gravidade e forças o que não corresponde à minha área, contudo, o projeto que elaborei complementou os meus conhecimentos sendo uma área que gosto, sinto-me preparado para continuar a progredir e a desenvolver projetos idênticos.

VII. Referências

- [1] Microsoft Corporation, “Word”. Disponível em: www.office.com
- [2] Google, inc, “Google”, www.google.pt
- [3] Ba-Phuc Huynh e Yong-Lin Kuo, “Optimal Fuzzy Impedance Control for a Robot Gripper Using Gradient Descent Iterative Learning Control in Fuzzy Rule Base Design”, [Online]. Disponível no seguinte site: www.mdpi.com, publicado no dia 30 de maio de 2020
- [4] Professor Rui Amaral, Apontamentos e Slides da Unidade Curricular de APS, ano letivo: 2020/2021
- [5] Autores Desconhecidos, “Revolução Industrial”, [Online]. Disponível no seguinte site: www.wikipedia.com, última alteração no dia 2 de agosto de 2021
- [6] Interlink Electronics, “FSR412”, Datasheet, disponível em www.interlinkelectronics.com
- [7] Texas Instruments, “LM741”, Datasheet, disponível em www.ti.com
- [8] Microsoft Corporation, “Excel”. Disponível em: www.office.com
- [9] Microchip, “MCP3002”, Datasheet, disponível em www.microchip.com
- [10] Dicio, “Sinónimos”, disponível em www.sinonimos.com.br
- [11] Autores Desconhecidos, “Introduction to PSPICE”, [Online]. Disponível no seguinte site: www.learningaboutelectronics.com, Publicado: Data desconhecida
- [12] Autodesk, “Tinkercad”. Disponível em: www.tinkercad.com