

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI**

## **PBLE03 – PROJETO DE INSTRUMENTOS E TRANSMISSORES**

### **RELATÓRIO DE PROJETO: FASE I**

Grupo 04:

André Luiz Alves – 2021031147

Felippe Silvério de Castro – 2021009520

Pedro Andrade Gomes – 2022006926



## 2.1 – ESCOLHA DOS COMPONENTES

Segue abaixo a listagem dos componentes escolhidos e suas respectivas justificativas:

- Regulador de tensão de 5v 78L05:
  - Motivação: Indicação e disponibilidade;
  - Parâmetro determinante: Consumo de corrente quiescente e capacidade de corrente de saída;
- Amplificador operacional MCP6001/2:
  - Motivação: Disponibilidade;
  - Parâmetro determinante: Capacidade de trabalhar próximo ao rail negativo (alimentação V-);
- Transistor BJT NPN:
  - Motivação: Disponibilidade;
  - Parâmetro determinante: Capacidade de conduzir uma corrente coletor/emissor de pelo menos, aproximadamente, +70mA;
- Diodo 1N4001:
  - Motivação: Disponibilidade;
  - Parâmetro determinante: Capacidade de suportar uma tensão reversa de, pelo menos, 30v;
- Resistores:
  - Motivação: atingir a corrente desejada para o funcionamento do circuito;
  - Parâmetro: 1% de tolerância;

## 2.2 – CÁLCULO DOS RESISTORES

Para calcular os resistores os projetistas partiram das seguintes relações:

$$\frac{I_1}{R_1} = \frac{I_2}{R_2} \quad I_o = I_1 + I_2$$

Deste modo, obteve-se:

$$I_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot I_2$$

### Formulação da relação:

A equação que representa a corrente de saída  $I_o$ :

$$I_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{in}$$

Nessa relação o termo **V<sub>in</sub>** é a tensão de entrada aplicada ao circuito. Essa equação é típica de um amplificador com realimentação, onde a corrente de saída é amplificada em função dos valores dos resistores **R1** e **R2**. Já o termo que ajusta o valor da corrente em relação à tensão de entrada e que determina o fator de amplificação é  $\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$

### **Escolha inicial dos valores:**

Começamos com os valores iniciais arbitrários de  $R_{in}=1k\Omega$  e  $R1=10k\Omega$ . Utilizando a equação fornecida e substituímos os valores para determinar o valor de  $R2$  com base em uma corrente de 50mA e 5v de entrada aplicada. Com esses valores, verificamos que a corrente máxima obtida no circuito foi de 5 mA.

### **Análise da corrente necessária:**

A corrente de saída necessária para o funcionamento adequado do circuito era de 50 mA, o que indicava que os valores iniciais dos resistores não estavam atendendo à demanda de corrente do sistema.

### **Ajuste e escalonamento dos resistores:**

Para atingir a corrente desejada de 50 mA, decidimos reduzir os valores dos resistores. A escolha foi escalonar os resistores em aproximadamente 13% do valor original. Isso foi dividido em dois fatores:

- 10% de ajuste para aumentar a corrente para os 50 mA necessários.
- 3% adicionais para fornecer uma margem de segurança, levando em consideração a corrente quiescente e possíveis variações na reta de carga, além da requisição de ajuste do valor dos resistores à valores comerciais.

### **Valores finais:**

Com esse escalonamento, os valores finais dos resistores foram:

- $R_{in}=1k\Omega$ ,
- $R2=130\Omega$ ,
- $R1=1.3k\Omega$ .

Esses valores garantiram que o circuito fosse capaz de fornecer a corrente de 50 mA exigida, ajustando corretamente a amplificação e proporcionando uma operação estável com a folga necessária.

## **3 – SIMULAÇÃO**

Com os componentes definidos, foi feita a simulação, onde foi possível checar os dois pontos mais importantes para essa fase do projeto, operação do AmpOp e a corrente de saída do circuito.

### **Ponto de operação do curto-circuito virtual do AmpOp:**

Para melhor análise do ponto de operação do curto-circuito-virtual, foi necessário medir a diferença entre a entrada não inversora e inversora do AmpOp( $V_+-V_-$ ). Quando a diferença de potência das entradas do AmpOp é 0V, o circuito está polarizado e devidamente operacional.

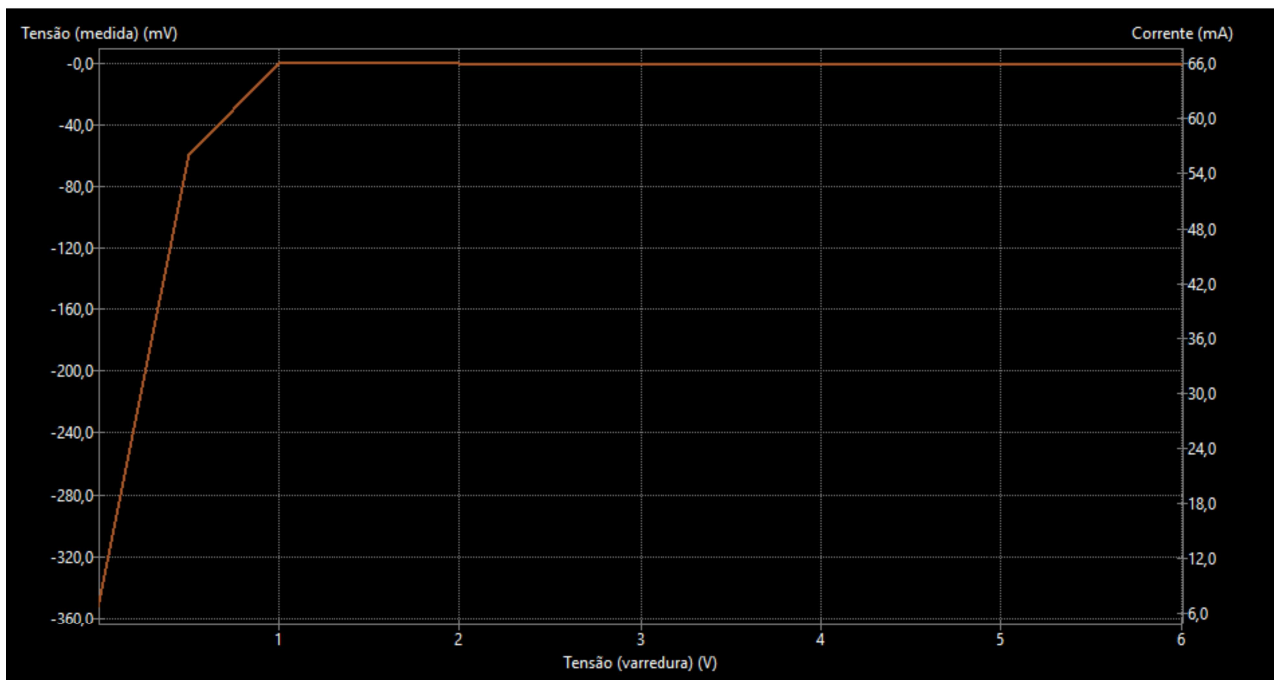


Figura 2: Gráfico do ponto de operação do curto circuito virtual

### Corrente de saída do circuito:

Sabendo que a corrente quiescente total do circuito é de 6.64mA, podemos analisar no gráfico o efeito que ela causa quando a tensão é baixa, e após 0.5V a corrente começa a atuar sobre resistor de carga ( $R_L$ ) de forma linear.

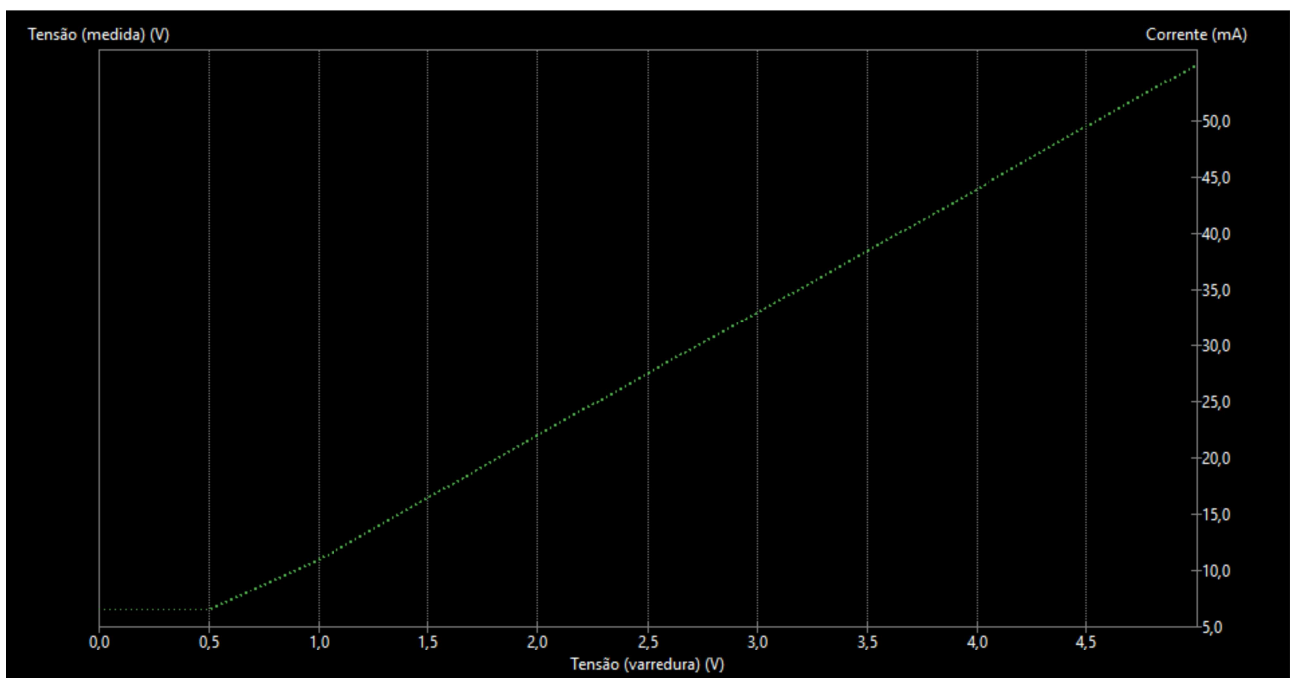


Figura 3: Gráfico da corrente de saída ( $I_o$ )

Com isso temos que o circuito opera dentro das especificações do projeto, uma saída linear entre 11-55mA, necessitando apenas de calibração que será realizado nas próximas fases do projeto.

#### **4 – RANQUEAMENTO DE EMPENHO**

1º - Pedro Andrade Gomes – 2022006926

2º - André Luiz Alves – 2021031147

3º - Felipe Silvério de Castro – 2021009520

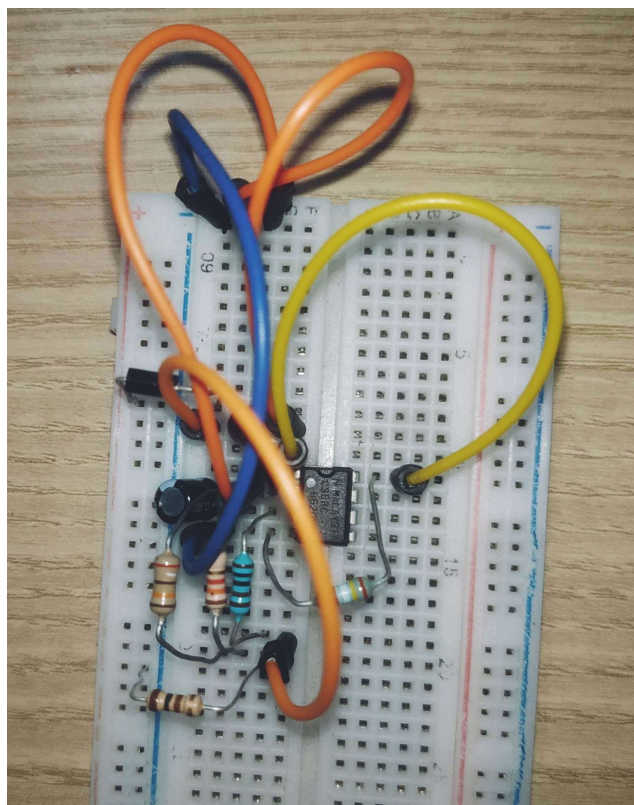
A decisão final do ranqueamento foi devidamente acordada e aceita por todos os membros integrantes do grupo.

## 5 – ETAPA II: MONTAGEM E TESTE

Depois da simulação a montagem do circuito foi realizada com base nos componentes escolhidos. Uma única alteração foi feita, o AmpOp MCP6002 foi substituído pelo LM358, na verdade, pelo seu equivalente C358C. Isso aconteceu pois os níveis de tensão que flutuam em certos pontos do circuito excederam o limite de alimentação do MCP6002 (6v). Porém, o LM358/C358C também possui os requisitos necessários para o projeto.

Um capacitor de  $100\mu\text{F}$  foi inserido entre os terminais inversor e não inversor. Isso aconteceu pois no startup do circuito um ponto de operação foi encontrado e mantido. Ponto esse que não atua junto com o curto-circuito virtual do AmpOp, logo era necessário forçar esse curto para que, no instante que um degrau fosse aplicado, o ponto de operação do circuito fosse forçado a funcionar com essa característica, fazendo assim com que o projeto funcionasse.

A tensão medida para uma entrada de 5v foi de algo muitíssimo próximo de 55mA, com uma margem de erro da ordem de duas casas decimais.



*Figura 4: Circuito desenvolvido montado no protoboard;*

## **6 – RANQUEAMENTO DE EMPENHO**

1º - Pedro Andrade Gomes – 2022006926

2º - Felipe Silvério de Castro – 2021009520

3º - André Luiz Alves – 2021031147

A decisão final do ranqueamento foi devidamente acordada e aceita por todos os membros integrantes do grupo.



## 7 – ETAPA III: CALIBRAÇÃO VIA SOFTWARE

Após a etapa de montagem foi necessário integrar ao sistema um microcontrolador para calibrar a curva de transferência do circuito. O microcontrolador utilizado foi o PIC18F4520, por questão de disponibilidade e acesso. No firmware é realizado a leitura do sensor via ADC, a calibração é feita, vide o código posterior, e o sinal de saída é jogado em um pino de PWM onde, na saída, um filtro capacitivo faz o ajuste da tensão de saída proveniente do PWM.

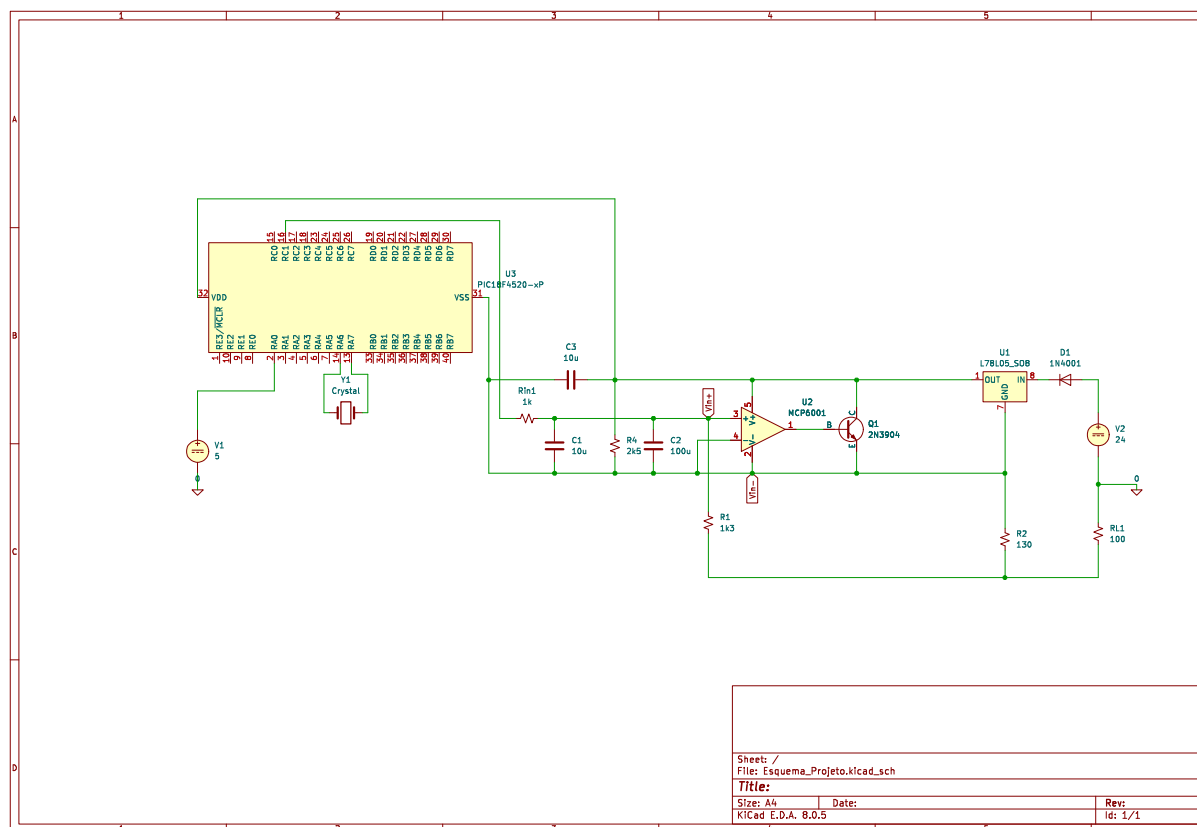


Figura 5: Esquemático elétrico final do projeto;

Nesta etapa alguns cuidados tiveram que ser tomados pois, se não o fizesse, o circuito do microcontrolador poderia estourar o limite de corrente quiescente de 10mA.

Consumo quiescente medido no circuito: 4,5mA;

Consumo quiescente medido no circuito do microcontrolador: 2mA;

Para chegar a este consumo configurações de frequência de operação do clock do sistema, ADC e PWM tiveram que ser feitas, fazendo com que o clock do sistema fosse dado pelo oscilador interno do PIC a uma frequência de 500kHz. O PWM, por sua vez, opera a 50Hz.

```

1  #include "pic18f4520.h"
2  #include "config.h"
3  #include "pwm.h"
4  #include "adc.h"
5  #include <xc.h>
6
7  int main(void)
8  {
9      OSCCON = 0b00110011; // frequencia de operação usando oscilador interno
10
11      adcInit(); //inicializa o ADC, aproximadamente 900 amostras por segundo
12
13      pwmInit(); // Inicializa o PWM
14      pwmFrequency(50); // Define a frequência do PWM
15
16      unsigned int adval = 0;
17
18      for(;;)
19      {
20          adval = adcRead();
21          adval = adval - (adval/9); //remove 9% do valor para calibrar a saída
22          adval = adval * 10; //ajustando para a escala 0 - 100
23          adval = adval/102;
24
25          pwmSet(adval); //injeta o valor calibrado diretamente no registro de compare do PWM
26      }
27  }
28

```

Figura 6: Código desenvolvido para o microcontrolador;

Após a integração do circuito do microcontrolador ao circuito de conversão, foi aferido a corrente quiescente total de 6,55mA, avaliando uma boa margem até o limite de 10mA. O circuito foi testado para o pior caso, 5v na entrada no conversor e PWM com duty cycle de 100%, ou seja, 6,55mA é o pior caso.

## **8 – RANQUEAMENTO DE EMPENHO**

1º - André Luiz Alves – 2021031147

2º - Felipe Silvério de Castro – 2021009520

3º - Pedro Andrade Gomes – 2022006926

A decisão final do ranqueamento foi devidamente acordada e aceita por todos os membros integrantes do grupo.

## 9 – ETAPA IV: AJUSTES FINAIS

Após a etapa de calibração via software algumas mudanças tiveram que ser feitas:

- A escala do PWM teve que ser alterada de uma escala de 0 a 100 para uma de 0 a 1023 (resolução máxima para maior precisão);
- O transmissor deveria manter a saída em 10mA para valores menores ou iguais a 1v na entrada, o valor em escala 0 – 1023 que mantém essa saída é de aproximadamente 176;

Além dessas alterações, o código teve que ser ajustado pois notamos nos testes em laboratório que, para o nível de precisão em questão, tivemos que levar em consideração uma pequena perda interna intrínseca ao microcontrolador. A saída PWM, quando fixa em 5v, não consegue entregar os 5v efetivos, havendo assim uma perda associada. Essa perda, por sua vez, implicava a diminuição do valor de calibração previamente calculado como sendo -10% do valor de entrada. Quando foi medido a maior saída possível na porta do microcontrolador, foi aferido uma tensão de aproximadamente 4,82v, logo o novo valor de calibração era de -3,6% do valor lido. O código final é apresentado abaixo:

```
C:/Users/ultim/MPLABXProjects/ Code/ Main.c
#include "pic18f4520.h"
#include "config.h"
#include "pwm.h"
#include "adc.h"
#include <xc.h>

int main(void)
{
    OSCCON = 0b01000011; // frequencia de operação usando = 1MHz

    adcInit(); //inicializa o ADC, aproximadamente 900 amostras por segund
    pwmInit(); // Inicializa o PWM

    unsigned int adval = 0;
    float temp = 0;

    for(;;)
    {
        temp = adcRead();
        temp = temp - (0.036 * temp); //remove 3% do valor para calibrar a s

        adval = (unsigned int)temp; //fazendo cast pra converter pra inteir

        if(adval <= 176) pwmSet(176);
        else pwmSet(adval);
    }
}
```

Figura 7: Código final;

## 10 – CONCLUSÃO

A partir do projeto desenvolvido e da análise modular realizada neste relatório, podemos concluir que o desenvolvimento de um transmissor de sinais eficiente e estável não é uma tarefa trivial. Realizar o sensível cálculo dos resistores, entender a dinâmica do sistema e suas limitações intrínsecas bem como aferir as restrições de projeto de maneira precisa e eficiente, definitivamente, não é algo trivial. Embora o transmissor desenvolvido tenha funcionado muito bem nos testes em laboratório, tamanha é a influência da qualidade dos componentes e equipamentos utilizados para com a precisão do equipamento, mesmo em período de teste, que é possível concluir que, para um projeto com fins meramente acadêmicos, os resultados foram satisfatórios.

No final, temos um projeto de transmissor que recebe um sinal de 0v a 5v e o converte em uma corrente de saída de 10mA a 50mA, aproximadamente, sendo esta calibrada no intermédio de um microcontrolador de baixo custo via ADC e PWM.

## **11 – RANQUEAMENTO DE EMPENHO**

1º - Felipe Silvério de Castro – 2021009520

2º - Pedro Andrade Gomes – 2022006926

3º - André Luiz Alves – 2021031147

A decisão final do ranqueamento foi devidamente acordada e aceita por todos os membros integrantes do grupo.

*Itajubá – setembro de 2024*

*UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá*

*PBLE03 – Projeto de Instrumentos e Transmissores*