

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI
ENGENHARIA ELETRÔNICA

Co-projeto de produtos eletrônicos.

Grupo 5

**Orientador: Prof. Rodrigo Maximiano Antunes de
Almeida**

Itajubá, 12 de julho de 2023

Sumário

1	INTRODUÇÃO	7
2	IDENTIFICAÇÃO	8
3	DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE	9
3.1	Requisitos	10
3.2	Ambiente de desenvolvimento	10
4	ESQUEMA ELÉTRICO E SUAS MODIFICAÇÕES	11
4.1	Blocos funcionais de cada esquema elétrico	12
4.1.1	Alimentação	12
4.1.1.1	Regulador de tensão	13
4.1.1.2	Utilização do diodo de luz para verificação de alimentação na placa	14
4.1.1.3	Requisitos Adicionais	14
4.1.2	Operação	16
4.1.2.1	Microcontrolador	17
4.1.2.2	Barra de Pinos para Gravação de dispositivos programáveis	18
4.1.2.3	Chave táctil, utilização do botão 825910-6	18
4.1.2.4	Cristal	19
4.1.2.5	USB - Serial	19
4.1.3	Interação com o usuário	20
4.1.3.1	Chaves tácteis	20
4.1.3.2	LCD e Trimmer	21
4.1.3.3	Sinalização de diferentes estados de operação com LEDs e Trimpot	22
4.1.4	Periféricos e Expansão	22
4.1.4.1	Relógio de tempo real	23
4.1.4.2	Conector de energia e as utilizações do PJ-002A	24
4.1.4.3	Filtro Butterworth	24
4.1.4.4	Barra de expansão	25
4.1.4.5	Estrutura dos divisores de tensões utilização do LM324DG	26
4.1.5	Memorial de cálculos	27
4.1.5.1	Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Alimentação	27
4.1.5.2	Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Operação	28
4.1.5.3	Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Interação com o usuário	28
4.1.5.4	Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Periféricos e Expansão	29
4.1.6	Relatório de verificação de erros de projeto	29

5	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	30
5.1	Requisitos	30
5.2	Desenho da placa de circuito impresso	31
5.3	Visão tridimensional do circuito projetado	32
5.4	Relatório de verificação de erros de projeto	33
6	ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS	34
6.1	Níveis de alimentação suportados	34
6.2	Faixa de níveis de consumo estimadas	34
6.3	Correntes e tensões máximas de entrada	34
6.4	Correntes e tensões máximas de saída	34
6.5	Características de comunicação	34
7	OPERAÇÃO DA PLACA	35
7.1	Arquitetura	35
7.2	Diagramas de Estados	37
7.3	Diagrama de classe	39
7.3.1	Protocolo de mudança de alarmes via comunicação serial	39
8	MONTAGEM	40
8.1	Lista de compra	41
8.2	Gravação do programa embarcado de validação	43
9	ANEXOS	44
9.1	Código-fonte do programa de validação	44
	REFERÊNCIAS	45

Lista de ilustrações

Figura 1 – Blocos funcionais do circuito.	12
Figura 2 – Subcircuito de Alimentação completo.	13
Figura 3 – Utilização do LD1117DT50TR e PJ-002A.	13
Figura 4 – Utilização do diodo emissor de luz LTST-C150GKT.	14
Figura 5 – Utilização do Transceptor USB-serial MCP2200-I/SO.	15
Figura 6 – Utilização do Semi Conector USB 897-43-004-90-000000.	15
Figura 7 – Subcircuito de Operação completo.	16
Figura 8 – Utilização do PIC18F4550-I/PT	17
Figura 9 – Utilização do PPTC061LFBN-RC	18
Figura 10 – Utilização do botão 1825910-6	18
Figura 11 – Utilização do Cristal ATS520A	19
Figura 12 – Subcircuito de Integração com o usuário completo	20
Figura 13 – Utilização das chaves tácteis 1825910-6	21
Figura 14 – Utilização do LCD JHD162A e do trimmer 3296W-1-103RLF	21
Figura 15 – Utilização dos LEDs e o trimpot	22
Figura 16 – Subcircuito de Periféricos e Expansão completo	23
Figura 17 – Utilização do MCP7940	23
Figura 18 – Utilização do PJ-002A	24
Figura 19 – Utilização do PJ-002A	24
Figura 20 – Subcircuito Filtro Butterworth	25
Figura 21 – Exemplo do Filtro Butterworth	25
Figura 22 – Utilização da Barra de expansão	26
Figura 23 – Estrutura dos divisores de tensão	27
Figura 24 – Verificação de erros do projeto do esquema elétrico	29
Figura 25 – Medidas adotadas na placa	30
Figura 26 – Placa de circuito impresso	31
Figura 27 – Visão superior da PCI em 3D	32
Figura 28 – Visão lateral da PCI em 3D	32
Figura 29 – Visão inferior da PCI em 3D	33
Figura 30 – Relatório de verificação de erros	33
Figura 31 – Diagrama UML para arquitetura do software	36
Figura 32 – Diagrama UML da máquina de estados	37
Figura 33 – Diagrama UML para operação da placa	38
Figura 34 – Diagrama UML de classes	39
Figura 35 – Primeira lista de compra	41
Figura 36 – Segunda lista de compra	42

Figura 37 – Terceira lista de compra	43
--	----

Lista de tabelas

Tabela 1 – Identificação dos alunos e suas responsabilidades	8
Tabela 2 – Requisitos do projeto	9
Tabela 3 – Recursos de desenvolvimento	10
Tabela 4 – Funções dos botões	38

1 Introdução

O objetivo deste manual é fornecer instruções detalhadas sobre como usar e reproduzir o projeto da placa desenvolvido no trabalho em grupo da disciplina Co-projeto de produtos eletrônicos (PBLE02) ministrada pelo Prof. Dr. Rodrigo de Paula Rodrigues. Aqui você encontrará todos os passos e recursos necessários para compreender e fazer uso do projeto.

O esquema elétrico, a placa de circuito impressa e os componentes embarcados de validação estão todos incluídos do manual de instruções. Para facilitar a reprodução e o uso adequados do projeto, cada uma dessas seções é abordada em detalhes.

Você pode aprender todo o projeto, desde a criação do esquema elétrico até a montagem da placa de circuito impresso, se seguir este manual. Além disso, aprenderá a integrar os componentes embarcados de validação para garantir que o projeto funcione corretamente com confiabilidade.

Este manual foi projetado com cuidado para ser um recurso abrangente que ajuda estudantes, pesquisadores e entusiastas da eletrônica a aprender e usar o projeto do placa. Estamos confiantes de que as informações aqui fornecidas serão valiosas e facilitarão o seu trabalho.

2 Identificação

Tabela 1 – Identificação dos alunos e suas responsabilidades

Matrícula	Nome	Responsabilidade
2021013229	Afonso Henriques Massunari	Embarcado de validação
2021031826	Luiz Henrique Barra Tavares	Documentação
2020032328	Marcelo Tucci Maia	Placa de circuito impresso

3 Desenvolvimento do Hardware

Tabela 2 – Requisitos do projeto

Divisão dos requisitos	Requisitos
Requisitos de alimentação	<p>Suportar tensão de entrada na faixa de 7V a 12V em contínua.</p> <p>Empregar um conector de alimentação do tipo Jack J4.</p> <p>Empregar proteção contra tensão reversa (opcional).</p> <p>Empregar um regulador linear com saída de 5V.</p> <p>Empregar um diodo emissor de luz para sinalizar a presença de alimentação na placa.</p>
Requisitos de processamentos	<p>Empregar microcontrolador PIC18F4450 como unidade de processamento e controle.</p> <p>Possuir uma barra de pinos compatível com o padrão de gravação ICSP para o microcontrolador empregado.</p> <p>Possuir uma chave tátil para reiniciar a operação do microcontrolador.</p>
Requisitos de interações com o usuário	<p>Possuir um teclado numérico de cinco teclas confeccionado a partir de chaves táteis.</p> <p>Possuir um visor de 16x2 caracteres da família JHD62A, com luminosidade a ser controlada por meio de potenciômetro.</p> <p>Possuir conjunto de, pelo menos, quatro diodos emissores de luz (LED) a partir do qual seja possível sinalizar estados diversos de operação da unidade de processamento e controle.</p> <p>Possuir um potenciômetro (tripot) com o qual pode permitir a entrada de valores contínuos por parte dos usuários.</p>
Requisitos de periféricos e expansão	<p>Possuir uma barra de expansão que contemple os sinais de referência e de alimentação da placa e quatro entradas analógicas diferenciais. Tais pares devem ser condicionados de forma a se gerar níveis entre 0V e 3V a serem disponibilizados ao microcontrolador empregado.</p> <p>Possuir uma saída analógica formada por sinal em modulação PWM.</p> <p>Possuir uma barra de expansão de sinais que contemple os sinais de referência (terra) e de alimentação do circuito assim como os demais pinos não utilizados do microcontrolador.</p>
Requisitos adicionais	<p>Empregar um conversor USB-serial família MCP2200 que permita comunicação serial com a placa desenvolvida.</p>

3.1 Requisitos

O esquema elétrico é uma representação do circuito eletro eletrônico no qual são elencados os componentes a serem utilizados e a relação de interconexões entre eles. Para o presente projeto, o esquema elétrico foi construído seguindo alguns requisitos, apresentados na tabela 2.

3.2 Ambiente de desenvolvimento

Tabela 3 – Recursos de desenvolvimento

Recurso	Descrição	Versão
1	KiCad	7.0
2	MPLABX IDE	6.0
3	Laboratórios	-

4 Esquema elétrico e suas modificações

No esquema elétrico, foram utilizadas folhas hierárquicas com rótulos hierárquicos para representar o circuito. Um circuito é um conjunto de componentes eletrônicos interconectados que executam uma função específica. Para facilitar a organização e compreensão do esquema, o circuito foi dividido em subcircuitos. Cada folha representa um subcircuito, que é uma porção do circuito principal responsável por uma tarefa ou função específica, representado na Figura 1.

Nesta seção também temos como objetivo descrever as modificações realizadas no esquema elétrico da placa visando garantir o seu funcionamento adequado. Durante o processo de desenvolvimento, foram identificadas algumas questões que necessitaram de ajustes e soluções específicas. A seguir, descrevemos cada uma dessas modificações:

1- Ajuste de Capacitores no Clock Externo do PIC4550: Foi observado que os capacitores em série ligados ao clock externo do PIC4550 estavam causando uma carga de capacitância desbalanceada. Para solucionar esse problema, optou-se por remover um dos capacitores, criando um curto-circuito e igualando os valores de capacitância em OSC1 e OSC2. Essa alteração foi realizada e não apresentou nenhum problema adicional.

2- Resolução de Conflito nos Pinos do Programador: Inicialmente, os pinos do programador foram conectados ao ICPORTS do microcontrolador, exceto pelo pino MCLR. No entanto, isso resultou em conflitos durante o processo de programação do microcontrolador. A solução adotada foi migrar também o pino MCLR para o ICPORT, garantindo uma conexão adequada e resolvendo o conflito identificado.

3- Problemas com LEDs e Botão de Reset: Após a modificação descrita anteriormente, foram observadas irregularidades no funcionamento dos LEDs, assim como a inoperância do botão de reset da placa. Esses problemas ocorreram devido ao fato do pino MCLR do modo Legacy (que foi alterado para o ICPORT) ficar flutuante, sem conexão adequada. Para resolver essa questão, o pino MCLR do programador foi mantido no ICPORT, enquanto o pino MCLR Legacy foi reconectado ao botão de reset. Após essa alteração, todos os componentes voltaram a funcionar corretamente.

4- Comunicação Serial: A comunicação serial foi implementada e está funcionando conforme o esperado, sem a necessidade de modificações adicionais.

5- Teclado: O teclado foi integrado ao sistema e está operando sem problemas após sua devida configuração, não sendo necessário realizar alterações adicionais.

6- LCD: Durante a integração do LCD, foi necessário ajustar a conexão do pino de backlight (pino 15). No projeto original, ele estava ligado ao ground (terra), porém,

para garantir o funcionamento adequado, foi necessário conectá-lo ao Vcc.

7- LCD (Continuação): Após a modificação mencionada anteriormente, foi constatado que o LCD ainda não estava funcionando corretamente. Após análise, verificou-se que os pinos RS e RE estavam conectados a pinos da placa que não funcionavam como I/O (entrada/saída). A solução encontrada foi alterar a conexão dos pinos RC4 e RC5 para os pinos RE0 e RE1, respectivamente. Após essa correção, o LCD começou a operar de forma adequada.

Essas modificações foram realizadas com o objetivo de assegurar o funcionamento correto da placa, solucionando os problemas identificados durante o desenvolvimento do projeto. Todas as alterações foram testadas e verificadas.

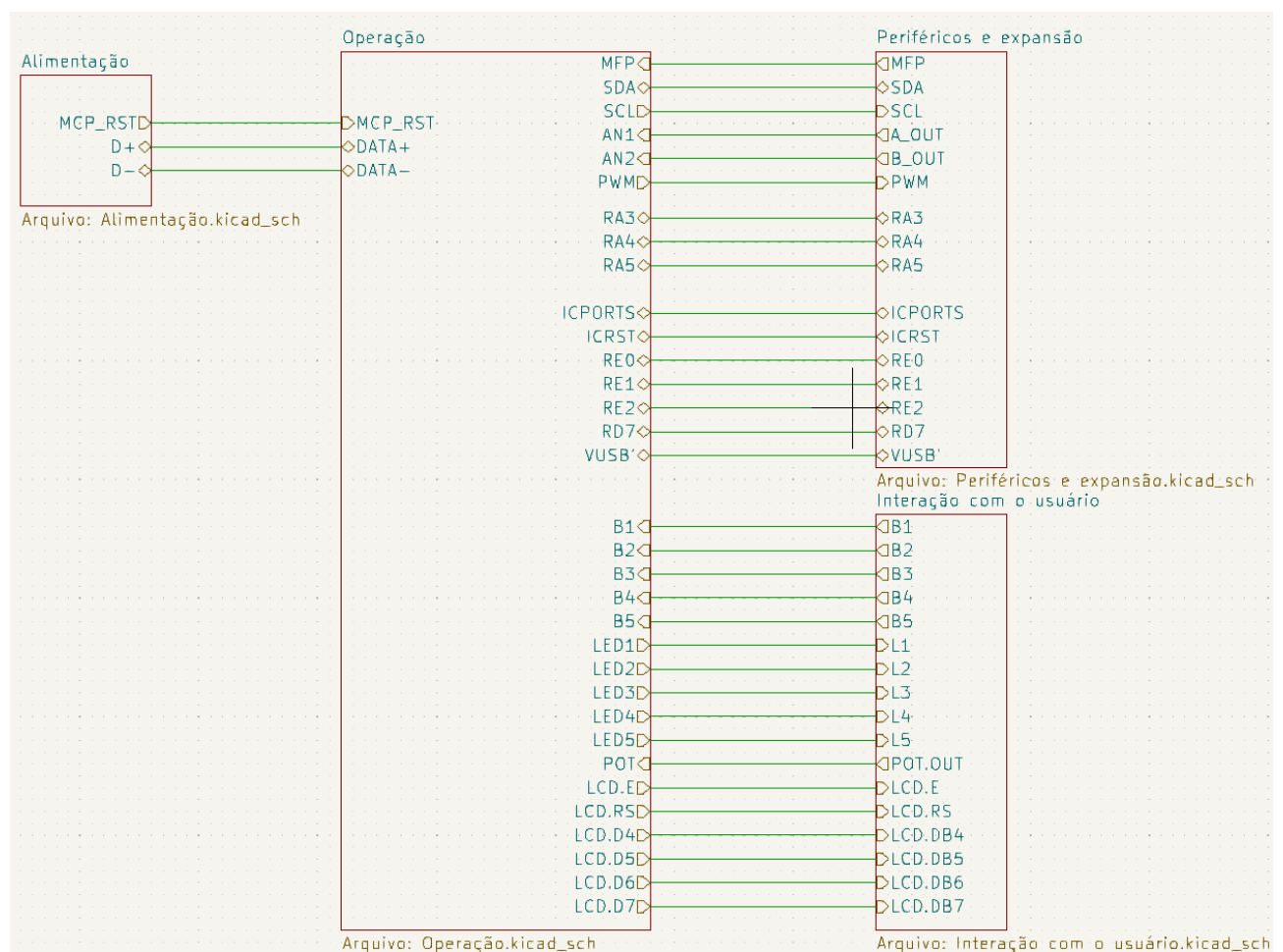


Figura 1 – Blocos funcionais.

4.1 Blocos funcionais de cada esquema elétrico

4.1.1 Alimentação

Como mencionado anteriormente, o esquema elétrico foi organizado hierarquicamente em folhas, onde cada folha contém um subcircuito específico. O subcircuito de

alimentação é responsável por fornecer energia aos componentes do circuito. Nessa figura, você encontrará as conexões, componentes e detalhes relacionados ao subcircuito de alimentação, que desempenha um papel crucial no funcionamento adequado de todo o sistema.

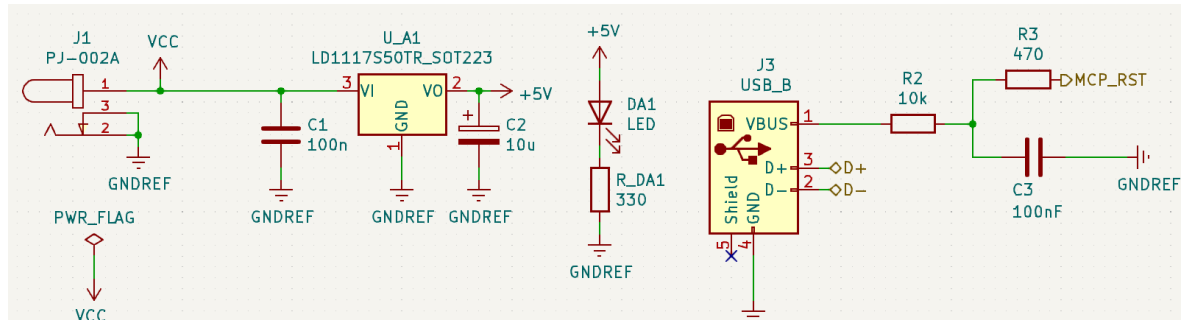


Figura 2 – Subcircuito de Alimentação.

4.1.1.1 Regulador de tensão

Para suportar uma faixa de tensão de entrada de 7 a 12V em corrente contínua, foi incorporado o regulador de tensão LD1117DT50TR [1] ao projeto. Esse regulador possui três terminais: entrada, saída e terra. Sua função é reduzir o valor da tensão de entrada para uma tensão específica na saída. No caso desse projeto, a tensão de saída desejada é de 5V. Dessa forma, o regulador de tensão desempenha um papel fundamental ao garantir que a tensão fornecida aos componentes seja mantida em um valor constante e seguro.

Para facilitar a conexão de energia, foi adotado o conector de energia PJ-002A [2] como intermediário na alimentação. Esse conector permite uma conexão prática e segura, garantindo a transferência de energia de forma eficiente. Com sua utilização, é possível estabelecer uma ligação confiável entre a fonte de energia e o circuito, contribuindo para o adequado funcionamento do sistema elétrico.

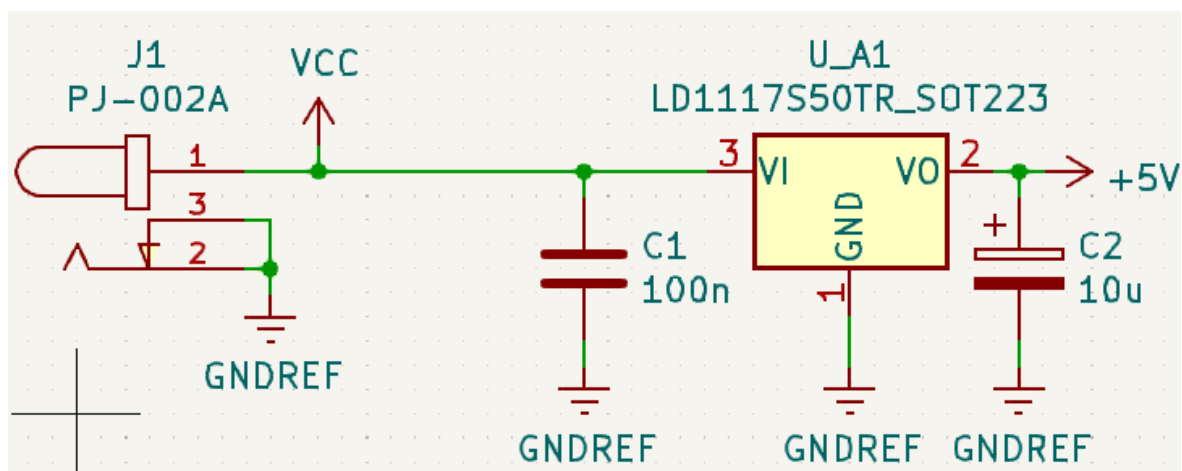


Figura 3 – Utilização do LD1117DT50TR e PJ-002A.

4.1.1.2 Utilização do diodo de luz para verificação de alimentação na placa

Para indicar a presença de alimentação na placa, o LED LTST-C150GKT [3] foi empregado, juntamente com um resistor de 330 ohms, em uma configuração em série. Esse LED tem a função de emitir luz quando a alimentação está presente, permitindo uma rápida visualização do status de funcionamento da placa. O resistor de 330 ohms foi utilizado para limitar a corrente que flui através do LED, assegurando seu correto funcionamento e protegendo-o de sobrecargas elétricas.

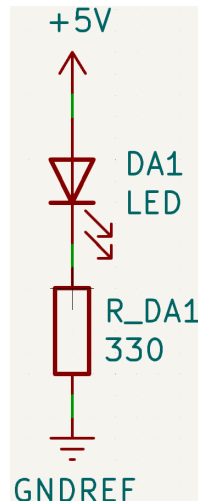


Figura 4 – Utilização do diodo emissor de luz LTST-C150GKT.

4.1.1.3 Requisitos Adicionais

No desenvolvimento da placa, foi utilizado o transceptor USB-Serial MCP2200-I/SO [4], que desempenha um papel fundamental na comunicação serial com a placa. Ele atua como um conversor, recebendo os dados provenientes do MCP2200-I/SO e convertendo-os para o formato serial compatível com o PIC18F4550-I/PT[5].

Para as conexões necessárias, foi realizado um pull-up com os pinos Rx e Tx. Nesse caso, um resistor de $4.7k\Omega$ está conectado ao Vcc (+5V), garantindo uma corrente adequada para essa configuração. Além disso, uma resistência de $10k\Omega$ foi empregada no pino de reset. O pino 17, conhecido como Vusb, representa a tensão que alimenta o Vbus do conector USB localizado na placa. Essa conexão é essencial para garantir a correta alimentação e funcionamento do dispositivo USB.

Por fim, é importante mencionar que o conversor USB, referente a Figura 6, e o PIC18F4550-I/PT (Figura 8) possuem frequências de clock diferentes. Portanto, é necessário incluir uma estrutura de cristal para ajustar e sincronizar adequadamente os sinais entre os dois componentes, permitindo uma comunicação estável e confiável.

Dentro do subcircuito de alimentação, foi incorporado o Semi Conector USB 897-43-004-90-000000 [6]. Esse componente desempenha um papel essencial na entrada dos

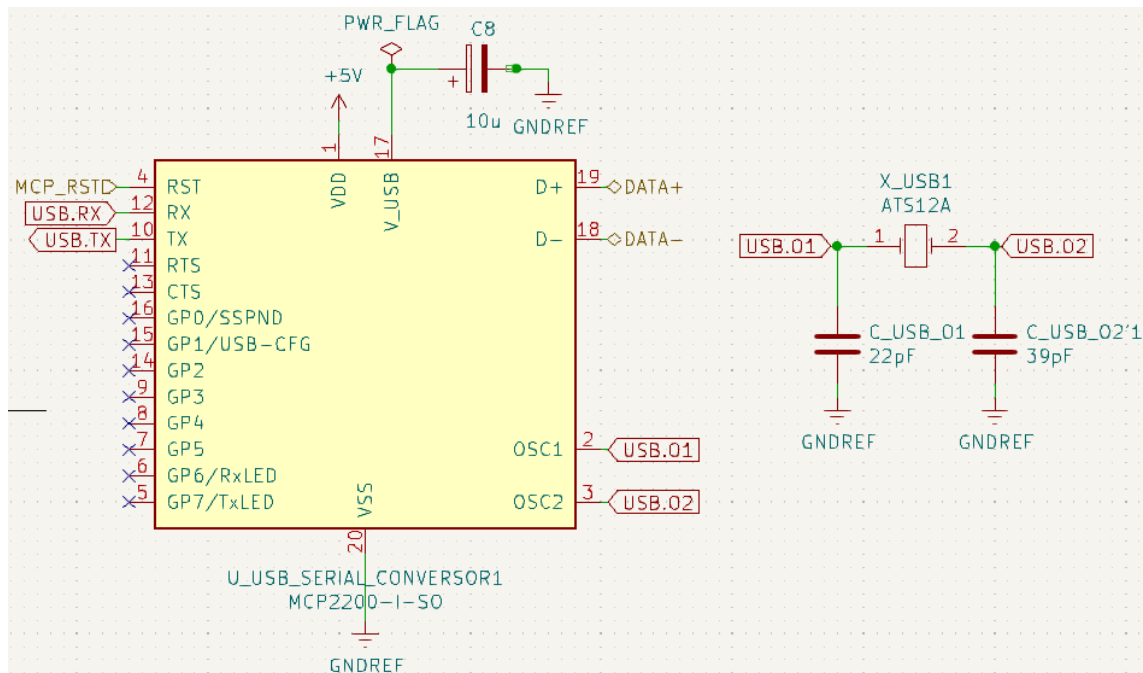


Figura 5 – Utilização do Transceptor USB-serial MCP2200-I/SO.

dados no conversor e no direcionamento desses dados para o PIC. A partir dele, são conectados os pinos D+ e D-, que se ligam aos pinos 18 e 19 do MCP2200-I/SO MCP. Por sua vez, o MCP2200-I/SO MCP possui os pinos USB.Rx e USB.Tx, que são conectados aos pinos 1 e 44 do PIC18F4550-I/PT [5].

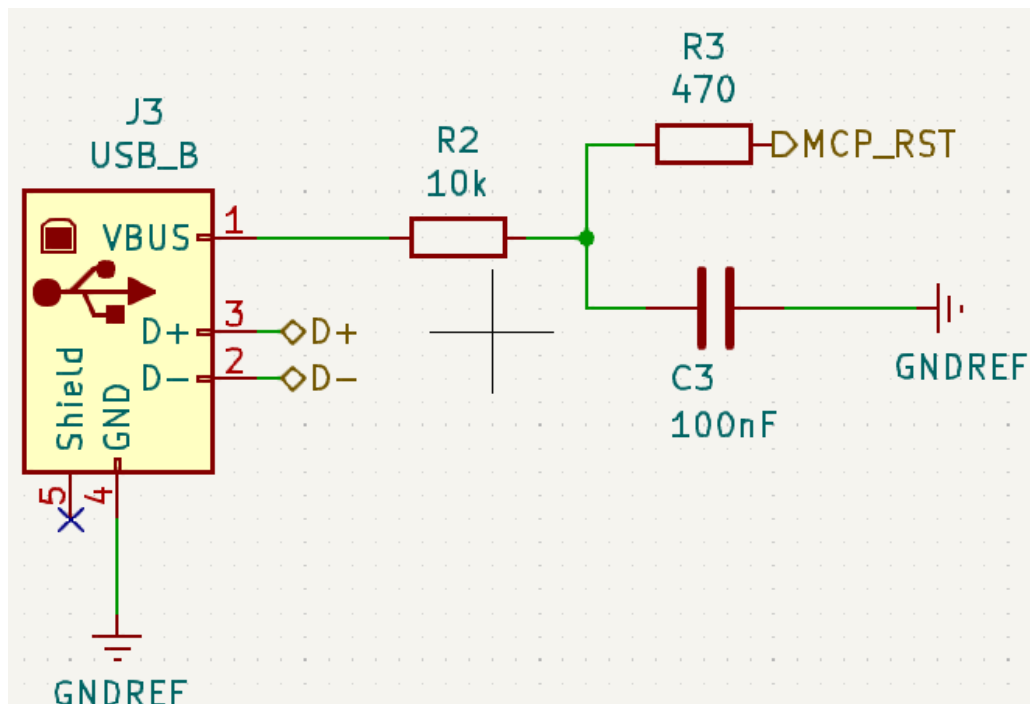


Figura 6 – Utilização do Semi Conector USB 897-43-004-90-000000.

É importante ressaltar que o MCP2200-I/SO é ativado quando o conector USB é inserido, permitindo o fluxo de dados. Quando o USB não está conectado, o MCP2200-

I/SO MCP entra em estado de reset, garantindo um comportamento adequado do sistema. Essa integração entre o Semi Conector USB, o MCP2200-I/SO MCP e o PIC18F4550-I/PT permite a transferência de dados de forma eficiente e confiável entre os componentes, contribuindo para o correto funcionamento do circuito.

4.1.2 Operação

Esquema Elétrico do Subcircuito de Operação: A Figura 7 abaixo apresenta o esquema elétrico individual referente ao subcircuito de operação.

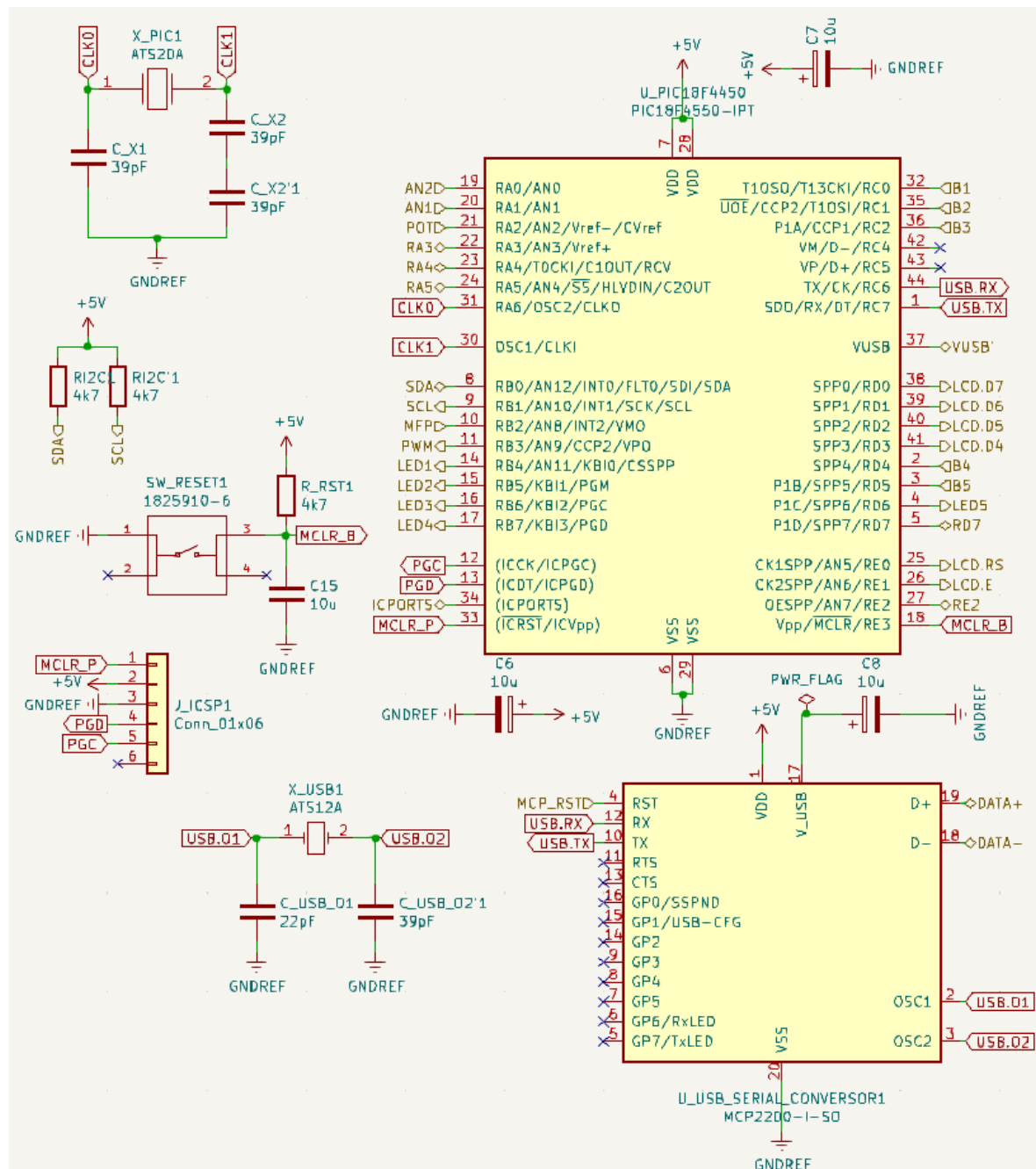


Figura 7 – Subcircuito de Operação completo.

4.1.2.1 Microcontrolador

Para estabelecer as conexões necessárias, foram seguidas as informações contidas no datasheet [5] do microcontrolador. Com base na tabela de pinos presente no datasheet, cada pino foi conectado conforme sua respectiva função, garantindo assim o correto funcionamento do sistema.

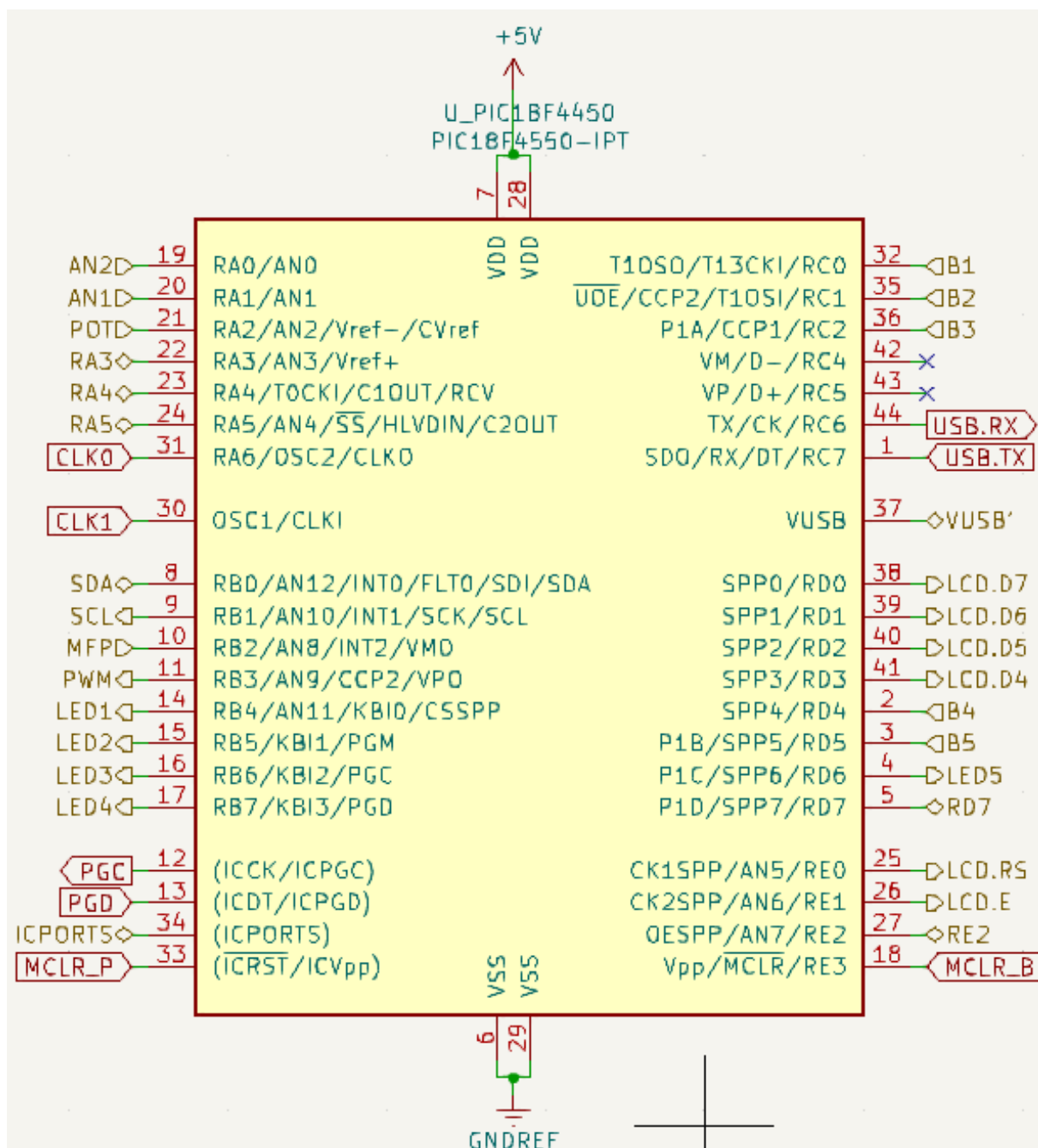


Figura 8 – Utilização do PIC18F4550-I/PT.

4.1.2.2 Barra de Pinos para Gravação de dispositivos programáveis

Para viabilizar a gravação dos dispositivos programáveis seguindo o protocolo ICSP (In Circuit Serial Programming), utilizou-se a barra de pinos PPTC061LFBN-RC representado pela Figura 9, cujo seu datasheet é [7]. Essa barra de pinos é compatível com esse método de gravação, permitindo a programação dos dispositivos após a montagem do circuito na placa, garantindo a correta comunicação e programação dos dispositivos.

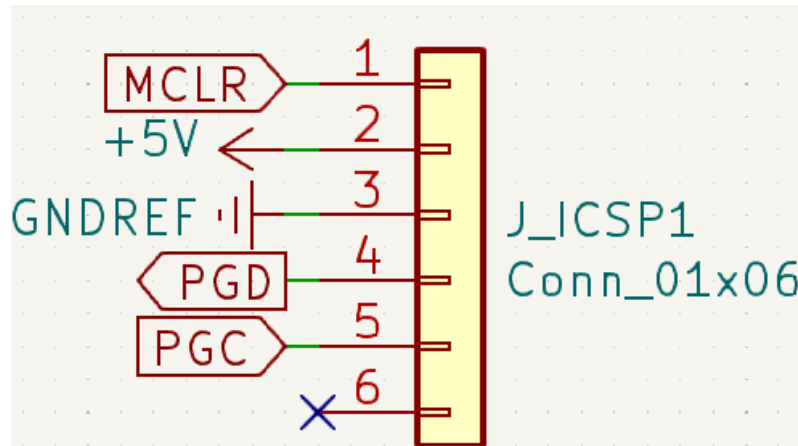


Figura 9 – Utilização do PPTC061LFBN-RC.

4.1.2.3 Chave tátil, utilização do botão 825910-6

Para permitir o reinício do microcontrolador, foi empregada a chave tátil 1825910-6 [8], que possui um pull-up integrado, apresentado na Figura 10.

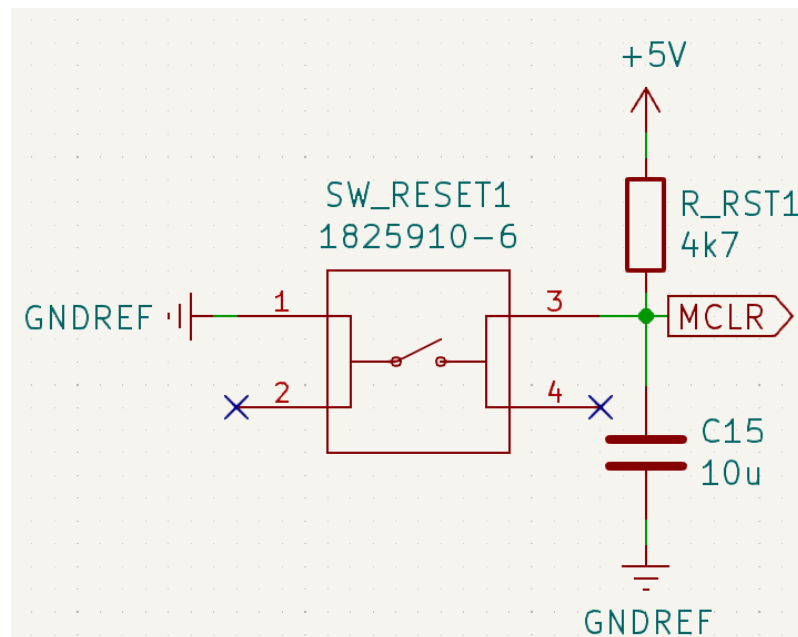


Figura 10 – Utilização do botão 1825910-6.

Nessa configuração, o resistor de $4.7k\Omega$ é conectado ao Vcc (5V), enquanto o botão, ou seja, a chave tátil, é conectado ao terra (GND). Essa configuração permite que o microcontrolador seja reiniciado quando o botão da chave tátil é pressionado.

4.1.2.4 Cristal

O cristal desempenha um papel fundamental na manutenção do ritmo preciso de um relógio eletrônico, garantindo sua estabilidade mesmo diante de variações nas condições ambientais, diferentes situações de funcionamento e até mesmo no estado da bateria. Nesse projeto, foi empregado o cristal ATS520A [9], cuja configuração de montagem foi definida com base nas especificações do microcontrolador PIC18F4550-I/PT, conforme detalhado no datasheet [5]. O cristal ATS520A assegura uma frequência altamente precisa, contribuindo para o desempenho confiável do relógio eletrônico.

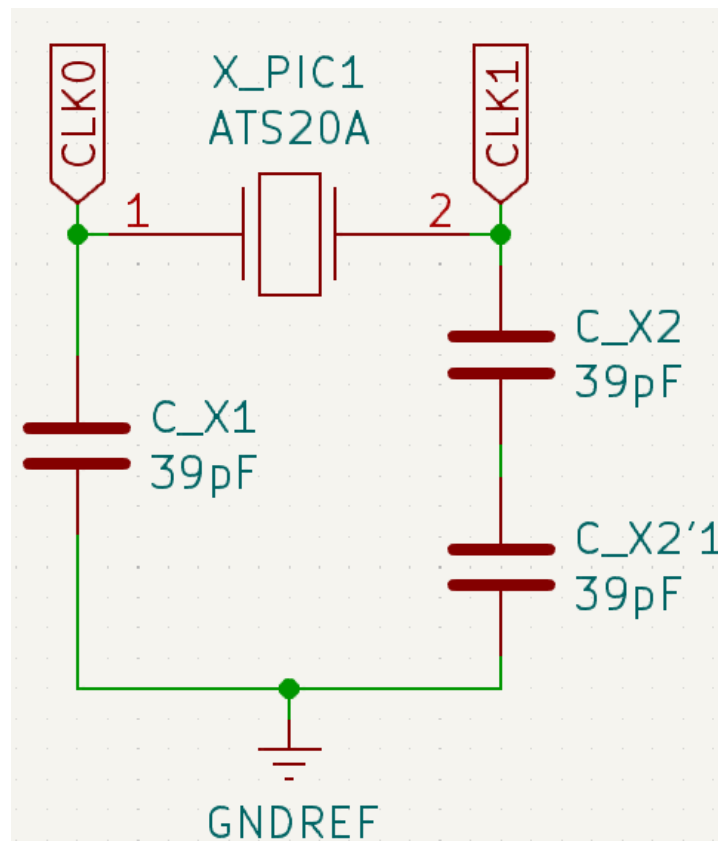


Figura 11 – Utilização do Cristal ATS520A.

4.1.2.5 USB - Serial

Exploração detalhada do transceptor USB-Serial MCP2200-I/SO na Seção 4.1.1.3 Requisitos Adicionais.

4.1.3 Interação com o usuário

Esquema Elétrico do Subcircuito de Interação com o usuário: A Figura 12 abaixo apresenta o esquema elétrico individual referente ao subcircuito de interação.

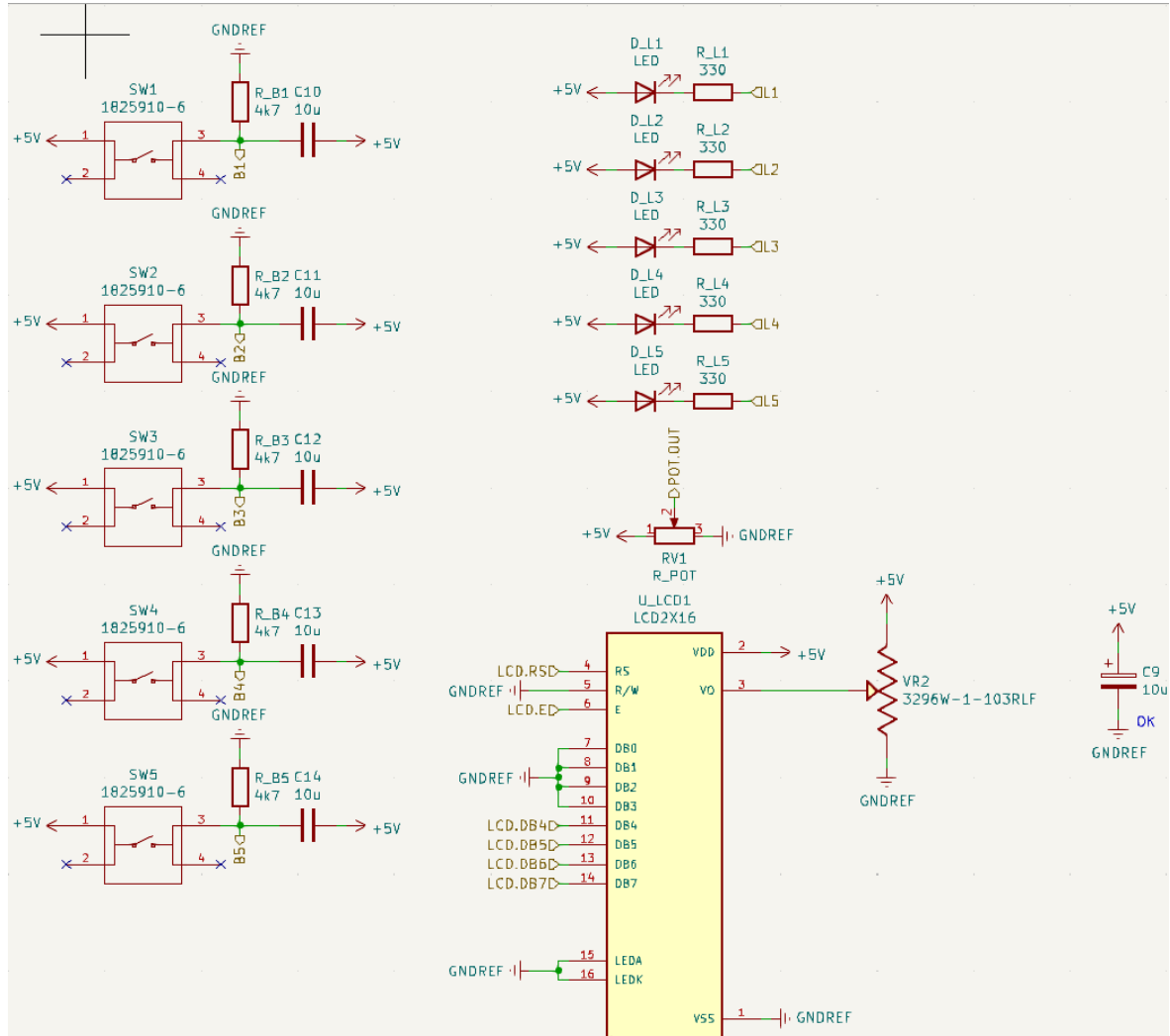


Figura 12 – Subcircuito de Integração com o usuário completo.

4.1.3.1 Chaves tácteis

No projeto do teclado numérico, foram empregadas 5 chaves tácteis 1825910-6 representada na Figura 13. A configuração adotada foi a de pull-down, na qual o resistor de $4.7k\Omega$ é conectado ao terra (GND) do circuito, enquanto o botão, ou seja, a chave tátil, é conectado ao Vcc (+5V). Dessa forma, na posição inicial do circuito, a saída apresentará um nível lógico baixo (0 ou false), devido à conexão do resistor com o terra.

Ao pressionar o botão, a saída assumirá um nível lógico alto. As saídas B1, B2, B3, B4 e B5 são provenientes das chaves tácteis e são conectadas ao microcontrolador PIC18F4550-I/PT referenciado na Figura 8 para processamento dos sinais.

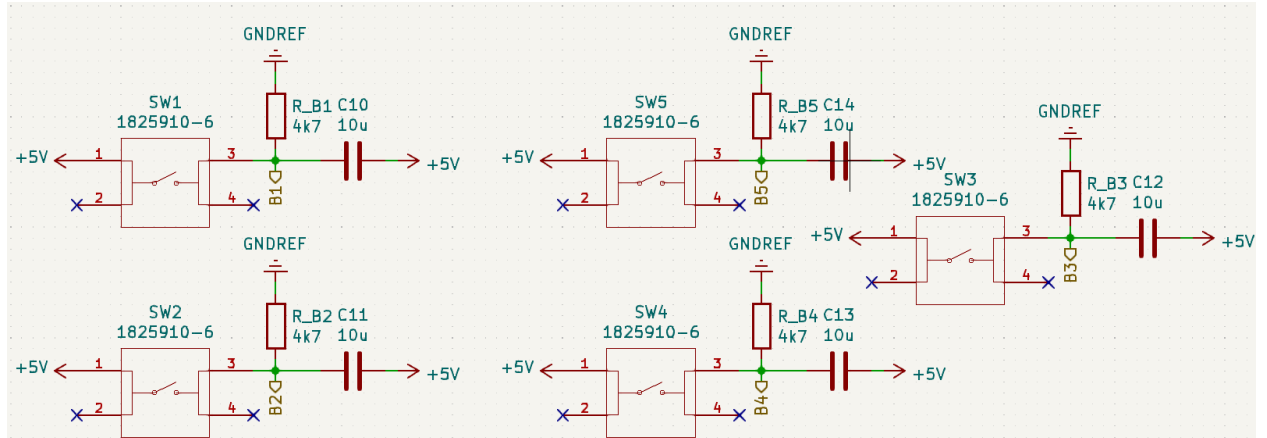


Figura 13 – Utilização das chaves tácteis 1825910-6.

4.1.3.2 LCD e Trimmer

Ao projeto, foi incorporado um visor de 16x2 caracteres da família JHD162A. A luminosidade do visor foi controlada por meio do trimmer 3296W-1-103RLF [10], que foi conectado ao pino V0 do JHD162A [11]. Para a transmissão dos dados para o visor LCD, utilizaram-se as entradas DB4, DB5, DB6 e DB7. No entanto, as saídas DB0, DB1, DB2 e DB3 do LCD não foram necessárias e, portanto, foram aterradas. Da mesma forma, os pinos LEDA e LEDK, que não foram utilizados, também foram aterrados. Essa configuração permite um controle preciso da luminosidade do visor LCD e otimiza o uso dos pinos disponíveis.

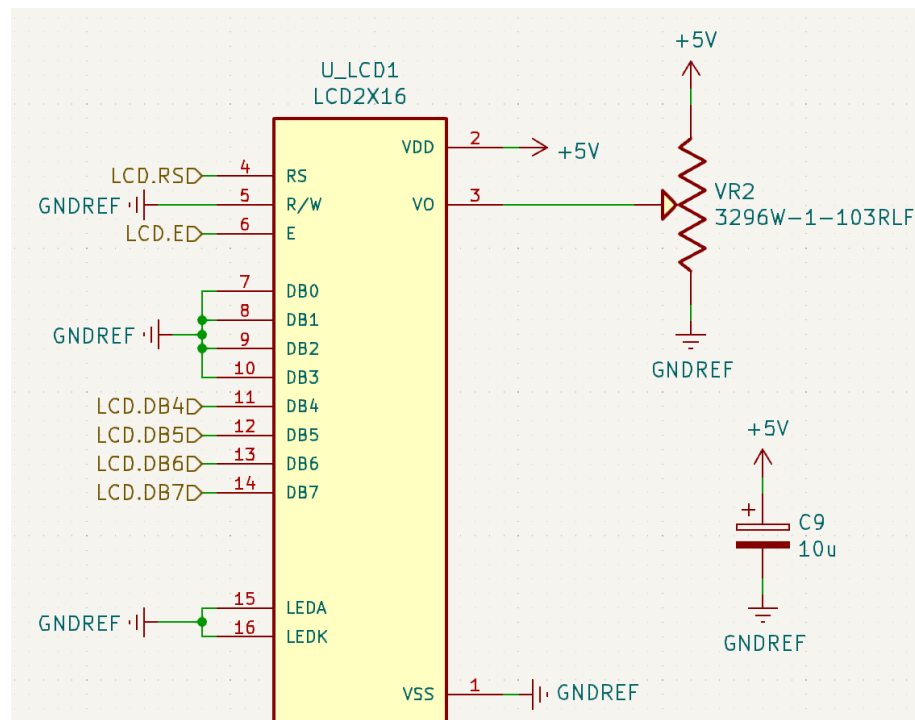


Figura 14 – Utilização do LCD JHD162A e do trimmer 3296W-1-103RLF.

4.1.3.3 Sinalização de diferentes estados de operação com LEDs e Trimpot

No projeto, foram empregados 5 diodos emissores de luz (LED) LTST-C150GKT [12] para sinalizar diferentes estados de operação da unidade de processamento e controle. Esses LEDs foram conectados em série com resistências de $4.7k\Omega$ para limitar a corrente. Além disso, para possibilitar a entrada de valores contínuos por parte dos usuários, foi utilizado o trimpot P160KN-0QC15B100K [13]. Esse componente permite o ajuste preciso de um valor de resistência específico, proporcionando um controle mais preciso sobre os valores contínuos inseridos pelos usuários.

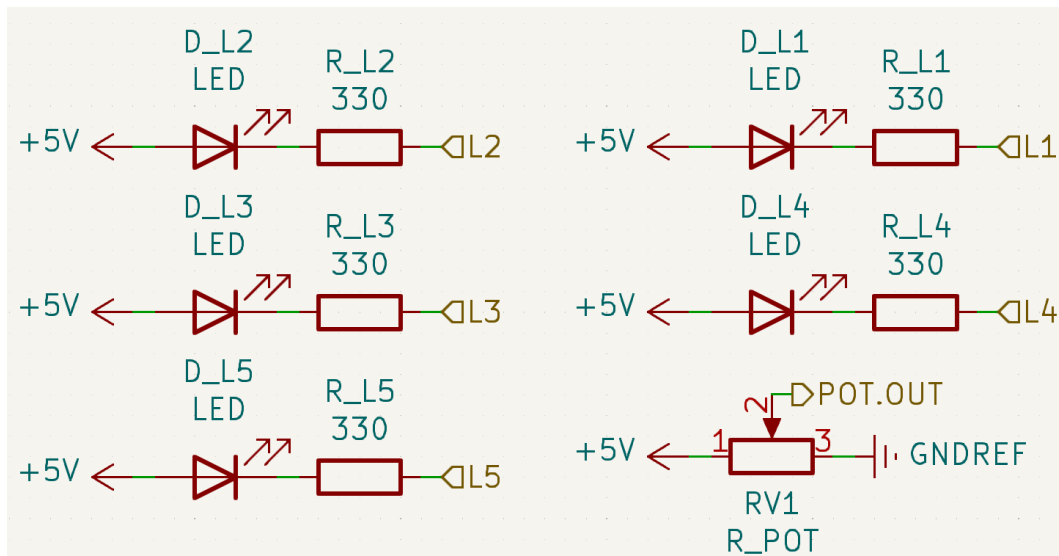


Figura 15 – Utilização dos LEDs e o trimpot.

4.1.4 Periféricos e Expansão

Esquema Elétrico do Periféricos de Expansão: A Figura 16 abaixo apresenta o esquema elétrico individual referente ao subcircuito de periféricos e expansão.

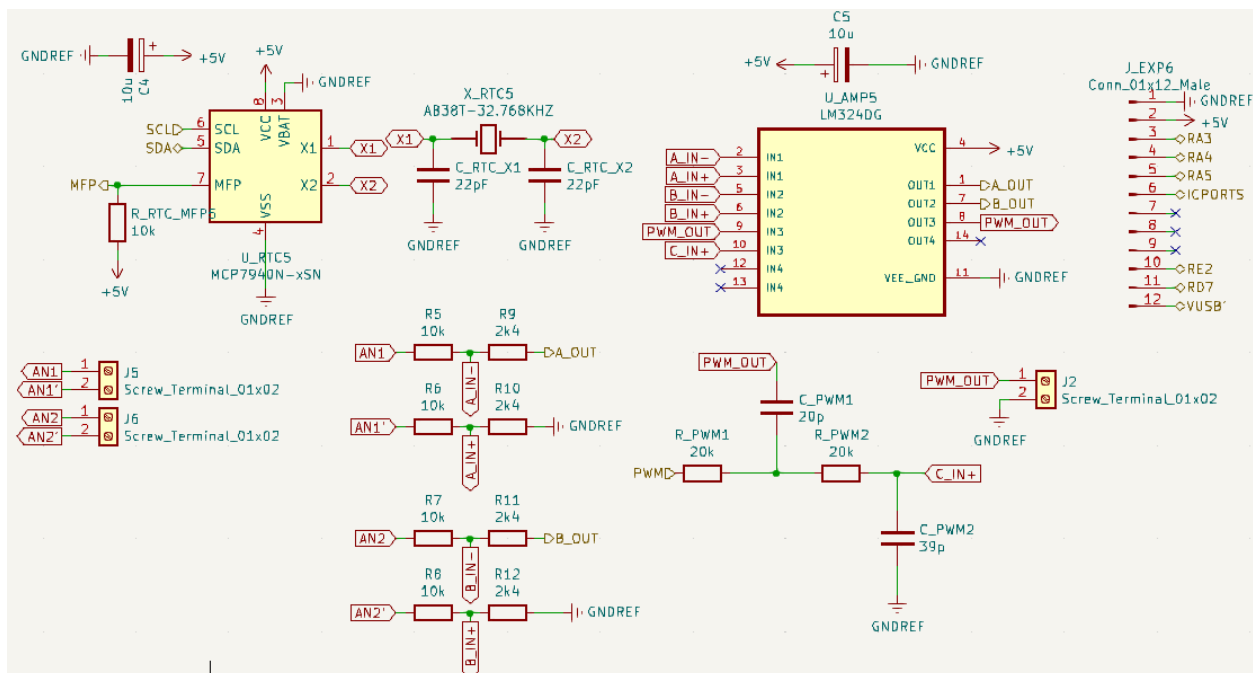


Figura 16 – Subcircuito de Periféricos e Expansão completo.

4.1.4.1 Relógio de tempo real

No projeto, foi utilizado o renomado relógio de tempo real da família MCP7940 [14], em conjunto com o cristal de alta precisão AB38T-32.768KHZ [15], cuja frequência é de 32.768 kHz. A principal função desse cristal é garantir que o relógio eletrônico mantenha sua precisão absoluta, independentemente das flutuações das condições ambientais, das diversas situações em que é submetido e até mesmo do estado de sua bateria. Essa combinação assegura que o relógio opere em um ritmo constante e confiável, permitindo que seja utilizado com extrema precisão em diversas aplicações.

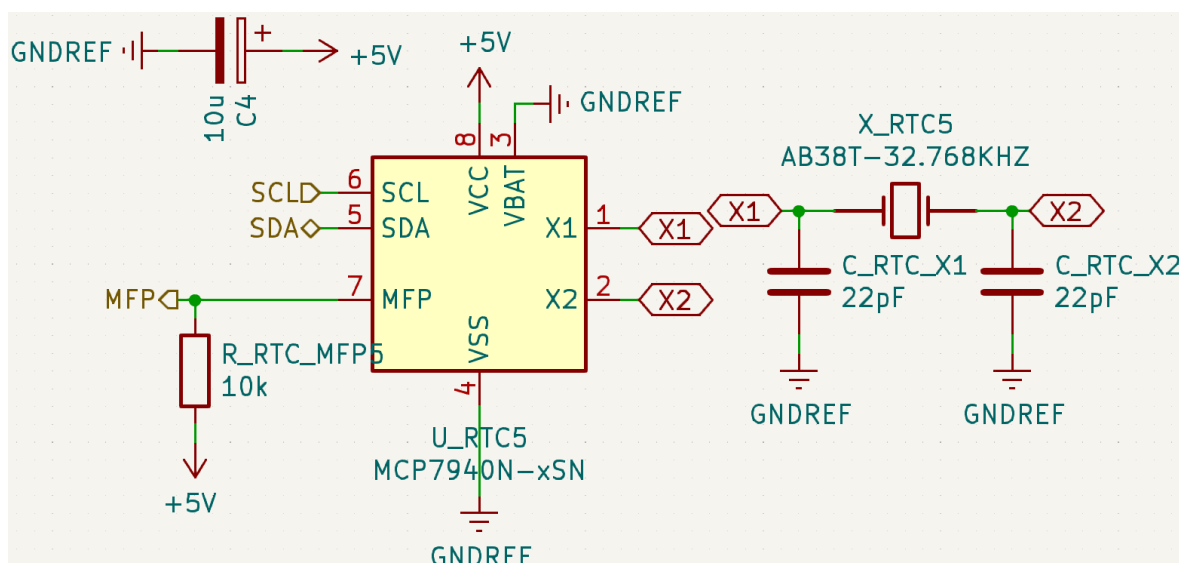


Figura 17 – Utilização do MCP7940.

4.1.4.2 Conector de energia e as utilizações do PJ-002A

Para interligar as quatro entradas analógicas e criar dois pares de entradas analógicas diferenciais (AN1, AN1', AN2, AN2'), foi adicionado um conector de energia PJ-002A [2]. Esses pares de entradas foram devidamente condicionados para gerar níveis de tensão variando entre 0V e 3V, que são então disponibilizados ao microcontrolador utilizado.

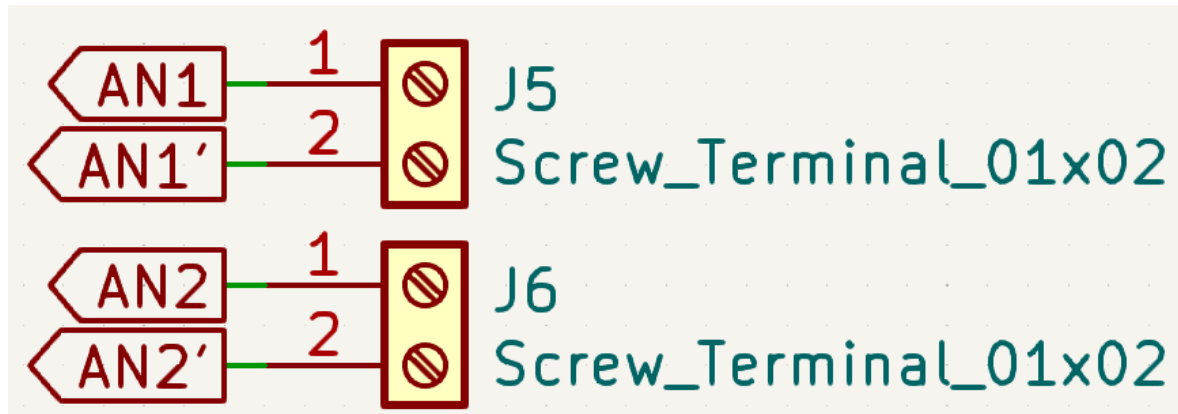


Figura 18 – Utilização do PJ-002A.

Deve-se possuir também uma saída analógica formada por sinal em modulação PWM. Para isso, foi usado novamente conector de energia PJ-002A para conectar a saída PWM no terra.

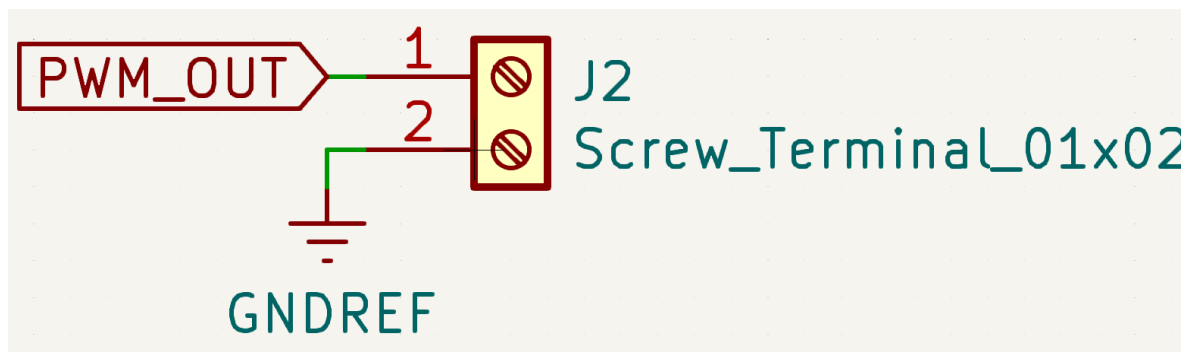


Figura 19 – Utilização do PJ-002A.

4.1.4.3 Filtro Butterworth

O Filtro Butterworth [16] é um projeto de filtro eletrônico projetado para alcançar uma resposta em frequência o mais plana possível dentro da banda passante. Ele é frequentemente utilizado para realizar a linearização do sinal de saída PWM do microcontrolador, garantindo uma saída de sinal mais precisa e livre de distorções, referente a Figura 20.

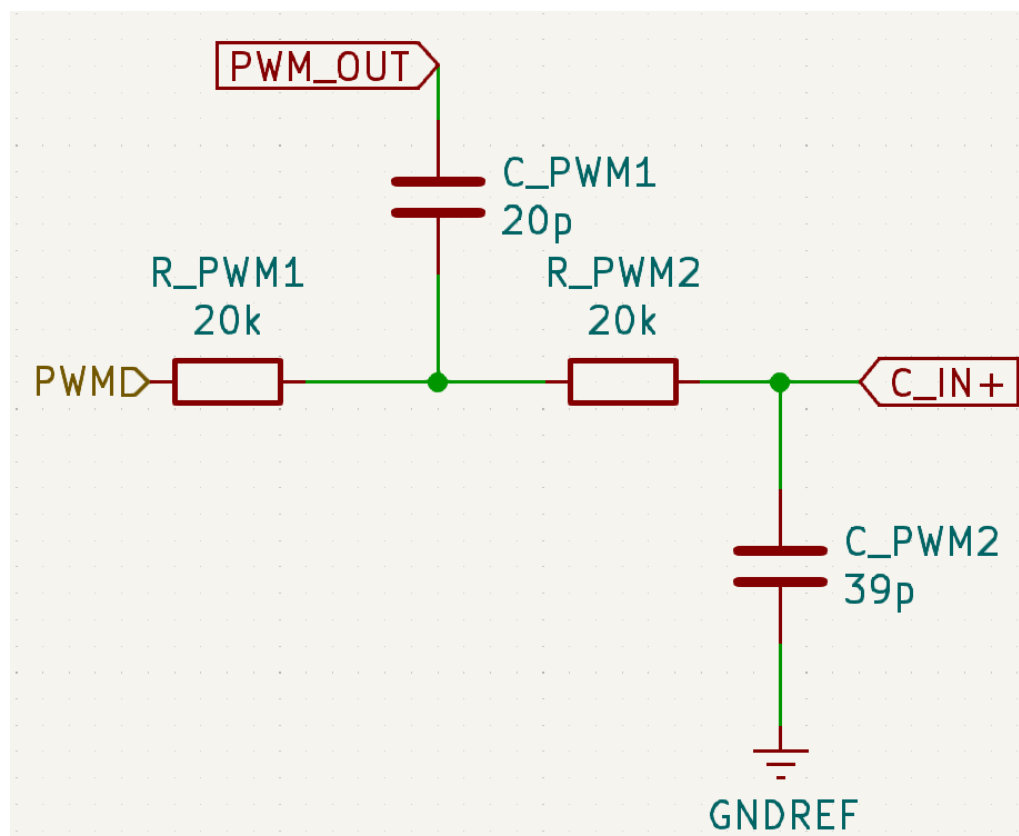


Figura 20 – Subcircuito Filtro Butterworth.

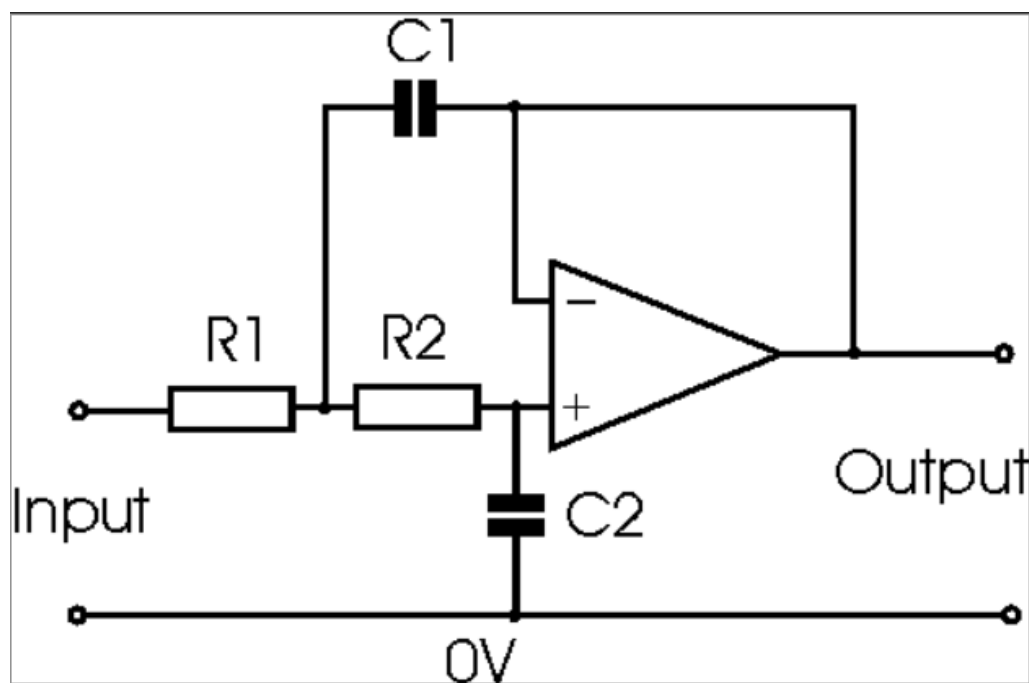


Figura 21 – Exemplo do Filtro Butterworth.

4.1.4.4 Barra de expansão

Além disso, há uma barra de expansão de sinais denominada J-EXP6, que abrange os sinais de referência (terra) e alimentação do circuito (5V), bem como os pinos não

utilizados do microcontrolador. Essa barra oferece uma interface adicional para a conexão de componentes externos ou expansões futuras do sistema, Figura 22.

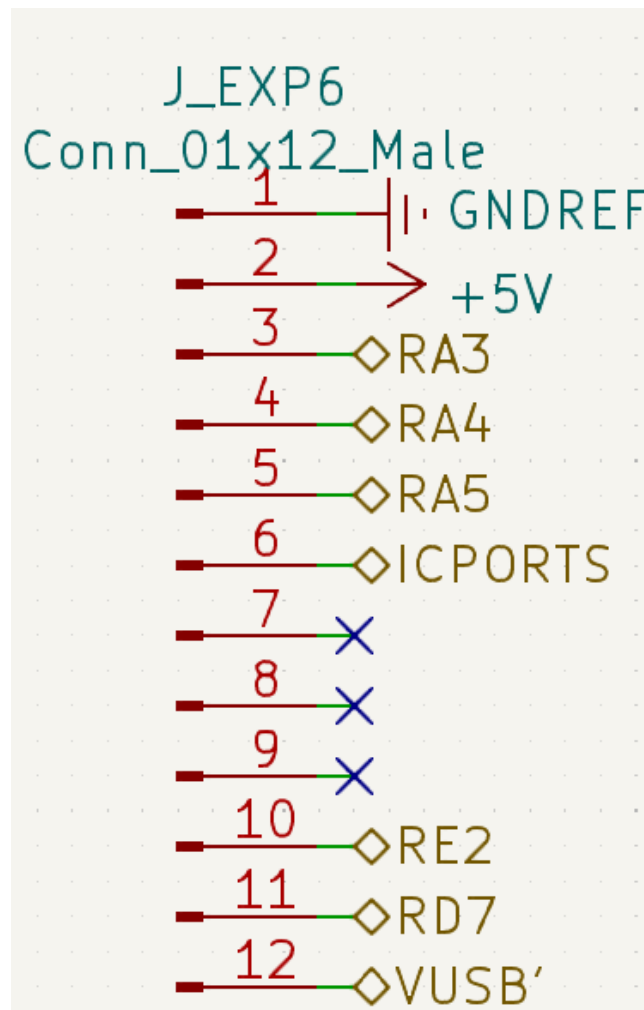


Figura 22 – Utilização da Barra de expansão.

4.1.4.5 Estrutura dos divisores de tensões utilização do LM324DG

O amplificador operacional LM324DG [17] foi empregado para estabelecer as conexões das entradas analógicas diferenciais, tanto inversoras quanto não inversoras (que foram conectadas à barra de expansão PPTC101LFBN-RC, conforme mostrado na Figura 16), bem como para as saídas desses amplificadores operacionais. Para criar as entradas analógicas diferenciais, foram utilizados divisores de tensão compostos por resistores de 10k Ω e 2.4k Ω . Dessa forma, as entradas AN1 e AN1' são conectadas aos divisores de tensão para a primeira entrada analógica, enquanto AN2 e AN2' são conectadas para a segunda entrada.

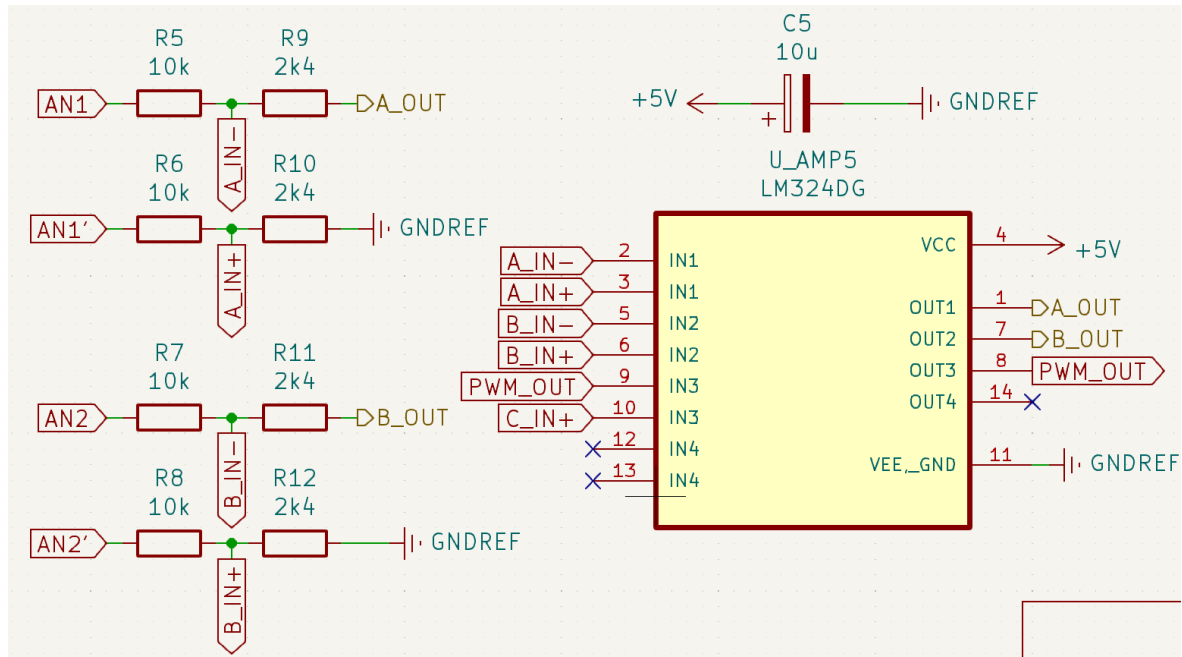


Figura 23 – Estrutura dos divisores de tensão e a utilização do LM324DG.

4.1.5 Memorial de cálculos

O memorial de cálculos deste relatório tem como finalidade documentar e apresentar de forma clara e organizada todos os cálculos realizados durante o processo de desenvolvimento e também análise do projeto em questão. Ele descreve as equações, fórmulas e procedimentos utilizados para obter resultados dos parâmetros específicos. Nesta seção temos a finalidade de apresentar o memorial de cálculos como um registro detalhado e justificativo das escolhas, métodos e resultados alcançados das informações apresentadas no relatório.

4.1.5.1 Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Alimentação

1- Na seção 4.1.1.2 foi utilizado o cálculo da resistência associada em série ao diodo emissor de luz LTST-C150GKT, pela seguinte equação:

$$R = \frac{V_{cc} - V_{led}}{I_{led}} = \frac{5 - 3,3}{30mA} \cong 57\Omega, \quad (4.1)$$

Para garantir a limitação de corrente no LED e para adequar o valor da resistência a valores comerciais, foram utilizados resistores de 330 ohm em todas as ligações em série com LED no projeto. Figura 5. Utilização do diodo emissor de luz LTST-C150GKT;

2- A definição dos valores de capacitores conectados ao regulador de tensão LD117DT50TR (seção 4.1.1.1) foi baseada na configuração apresentada no datasheet do componente, LD117DT50TR [1];

3- Os cálculos para encontrar o valor dos resistores e capacitores conectados ao Semi Conector USB 897-43-004-90-000000 são expostos detalhadamente na seção 4.1.1.3, Requisitos Adicionais.

4.1.5.2 Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Operação

1- Para determinar os capacitores conectados ao cristal, foi consultado o no datasheet do PIC18F4550-I/PT [5], referente a seção 4.1.2.4, Cristal;

2- Na configuração da chave tátil 1825910-6[8], referente a Figura 10 e seção 4.1.2.3, foi empregado um resistor de pull-up para estabelecer as conexões adequadas. Isso faz com que o pino de entrada leia um estado de nível alto quando o botão não está sendo pressionado. Quando o botão é pressionado, ele conecta diretamente o pino de entrada ao GND (terra). Portanto, é necessário utilizar uma resistência de valor elevado, como a resistência de 4.7k ohm, para limitar a corrente que flui através do resistor em direção ao GND. Essa resistência é essencial para evitar um curto-circuito, pois, sem ela, o botão estaria conectando diretamente o VCC ao GND. A escolha comercial da resistência de 4.7k ohm foi baseada nessa necessidade de proteção. Quanto à escolha do capacitor, o datasheet do PIC18F4550-I/PT [5] foi consultado para obter informações relevantes.

4.1.5.3 Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Interação com o usuário

1- Para o teclado numérico (Figura 13), foram utilizadas 5 chaves tácteis do modelo 1825910-6 [8]. A fim de garantir o correto funcionamento, foram implementados resistores de pull-down. Essa configuração faz com que, ao pressionarmos o botão, o sinal na saída assumo um nível lógico alto. Assim como mencionado na seção 4.1.3.1 sobre os resistores de pull-up, os resistores de pull-down também possuem valores elevados. Portanto, para esse caso, o valor comercialmente escolhido foi de 4.7k ohm. Além disso, foi adicionado um capacitor de 10uF para evitar o efeito de bounce (oscilação) no botão. O valor do capacitor foi selecionado com base na necessidade de suprimir essas oscilações, levando em conta os valores comerciais disponíveis;

2- Para determinar a resistência em série necessária para o diodo emissor de luz LTST-C150GKT[3], foi aplicada a mesma equação descrita na seção 4.1.1.2, Utilização do diodo de luz para verificação de alimentação na placa, levando em consideração os valores comerciais disponíveis. Após o cálculo, foi adotado um resistor de 330 ohm, escolhido de acordo com a disponibilidade dos valores comerciais. Essa resistência em série garante a corrente adequada para o diodo emissor de luz, proporcionando um funcionamento correto e seguro.

4.1.5.4 Subcircuitos que implementam o bloco funcional de Periféricos e Expansão

1- Na seção 4.1.4.1 Relógio de tempo real, referente a Figura 17, foram utilizados dois capacitores para estar conectado com o Cristal do RTC (Relógio de tempo real) [15], esta configuração foi realizada com acordo ao datasheet do RTC da família do MCP7940[14]. O valor de 10k ohm do resistor de pull up conectado ao pino 7 do RTC da família MCP7940 (Figura 17) foi definido com base no datasheet do MCP7940[14];

2- Dentro da seção 4.1.4.5 Estrutura dos divisores de tensões utilização do LM324DG [17], é necessário realizar a implementação de divisores de tensão utilizando resistores de 10kΩ e 2.4kΩ, como ilustrado na Figura 23. Essa configuração é necessária devido à faixa de diferença esperada entre as entradas analógicas, que deve estar entre 0 e 12.5V, enquanto a saída deve variar entre 0 e 3V. Para atingir esses valores, foi utilizada a seguinte fórmula, resultando em $R1 = 10k\Omega$ e $R2 = 2.4k\Omega$.

$$V_{out} = \frac{R2}{R1}(V_a - V_b), \quad (4.2)$$

Considerando que A-IN-, A-IN+, B-IN-, e B-IN+ se referem à Vout, e AN1, AN1', AN2, e AN2' são os terminais de entrada (Vin);

3- Foi realizado um Filtro Butterworth passa-baixa (seção 4.1.4.3), Figura 20, de tipo MFB. Para determinar os valores dos capacitores e resistências necessários foi utilizado um software de otimização específico para filtros foi utilizado. Esse software permitiu encontrar as combinações ideais de capacitâncias e resistências para o filtro em questão, levando em consideração os critérios de projeto e as especificações desejadas.

4.1.6 Relatório de verificação de erros de projeto

A seguir, é apresentado o relatório final de verificação de erros do projeto, o qual confirma o funcionamento adequado do esquema elétrico.

```
***** Folha /
***** Folha /Alimentação/
***** Folha /Periféricos e expansão/
***** Folha /Operação/
***** Folha /Interação com o usuário/

** Mensagens ERC: 0 Erros 0 Advertências 0
```

Figura 24 – Verificação de erros do projeto do esquema elétrico.

5 Placa de circuito impresso

5.1 Requisitos

Para a elaboração da placa de circuito impresso (PCI), foram estabelecidos os seguintes requisitos que direcionaram as escolhas de larguras, espaçamentos e diâmetros utilizados:

1. Utilização do formato de arquivos eletrônicos de fabricação Gerber RS274X.
2. Largura mínima para trilhas de sinais de 8 mils.
3. Largura mínima para trilhas de alimentação de 12 mils.
4. Espaçamento mínimo entre trilhas, furos e ilhas de 8 mils.
5. Diâmetro mínimo de furo de vias de 12 mils.
6. Diâmetro mínimo de ilhas de vias de 25 mils.
7. Não utilizar microvias.

Esses requisitos foram adotados para garantir a qualidade e a confiabilidade da placa de circuito impresso, bem como atender às especificações técnicas e normas aplicáveis ao projeto.

Nome	Isolamento	Largura de Trilha	Tamanho da Via	Furo da Via	Tamanho da uVia	Furo da μ Via	Largura do Par Diferencial	Espaçamento do Par Diferencial
Default	8 mils	8 mils	25 mils	12 mils	11,81102 mils	3,937008 mils	7,874016 mils	9,84252 mils
Alimentação	8 mils	12 mils	25 mils	12 mils	11,81102 mils	3,937008 mils	7,874016 mils	9,84252 mils

Figura 25 – Medidas adotadas na placa.

5.2 Desenho da placa de circuito impresso

Na Figura 26 é apresentado o desenho da placa de circuito impresso (PCI), evidenciando as seguintes configurações de trilhas: camadas de cobre na parte superior, representadas em vermelho, e camadas de cobre na parte inferior, representadas em azul. Além disso, são exibidos os posicionamentos dos componentes eletrônicos na placa. A figura proporciona uma visualização clara da disposição estrutural e da interconexão dos elementos da PCI.

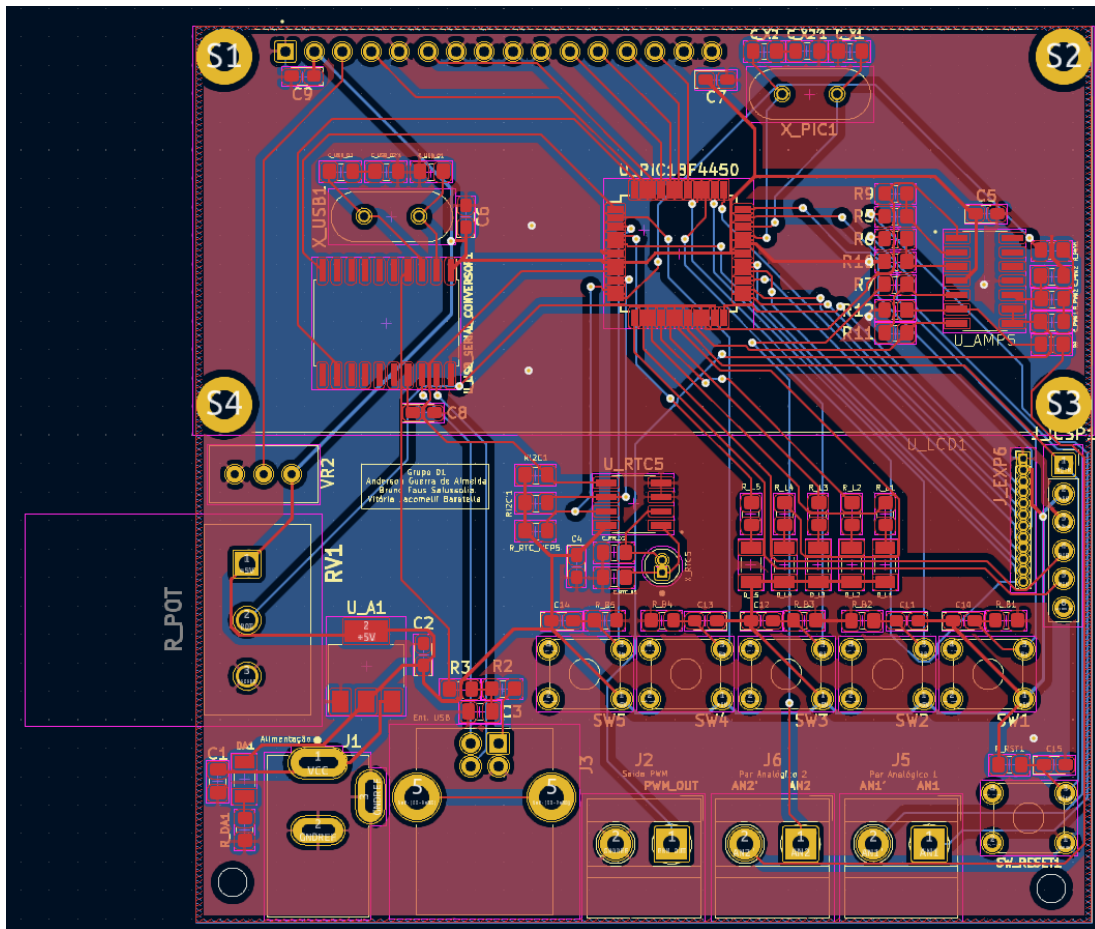


Figura 26 – Placa de circuito impresso.

5.3 Visão tridimensional do circuito projetado

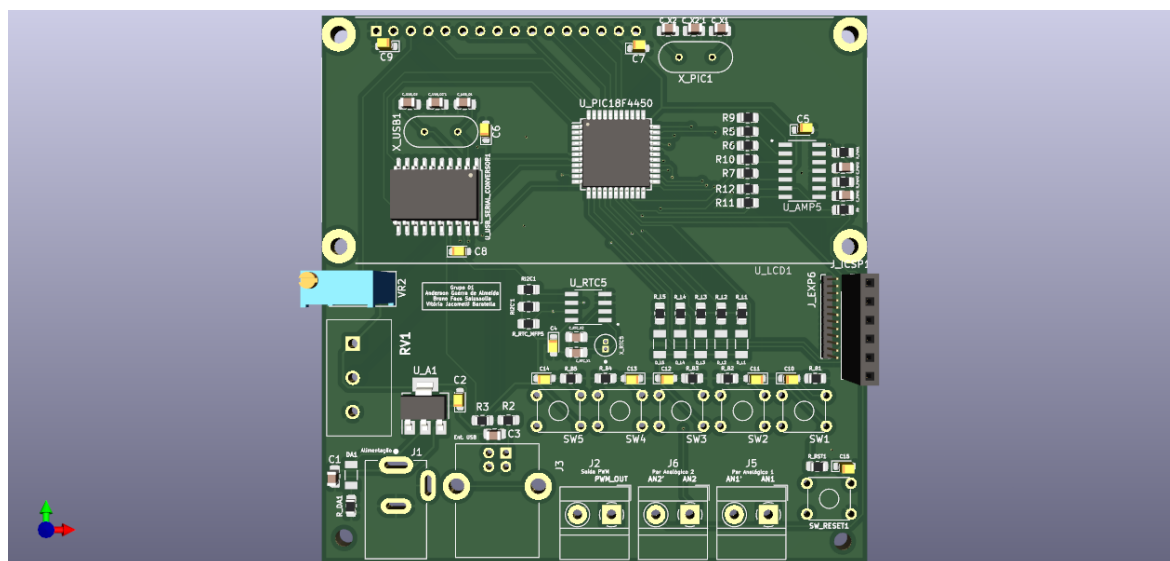


Figura 27 – Visão superior da PCI em 3D.

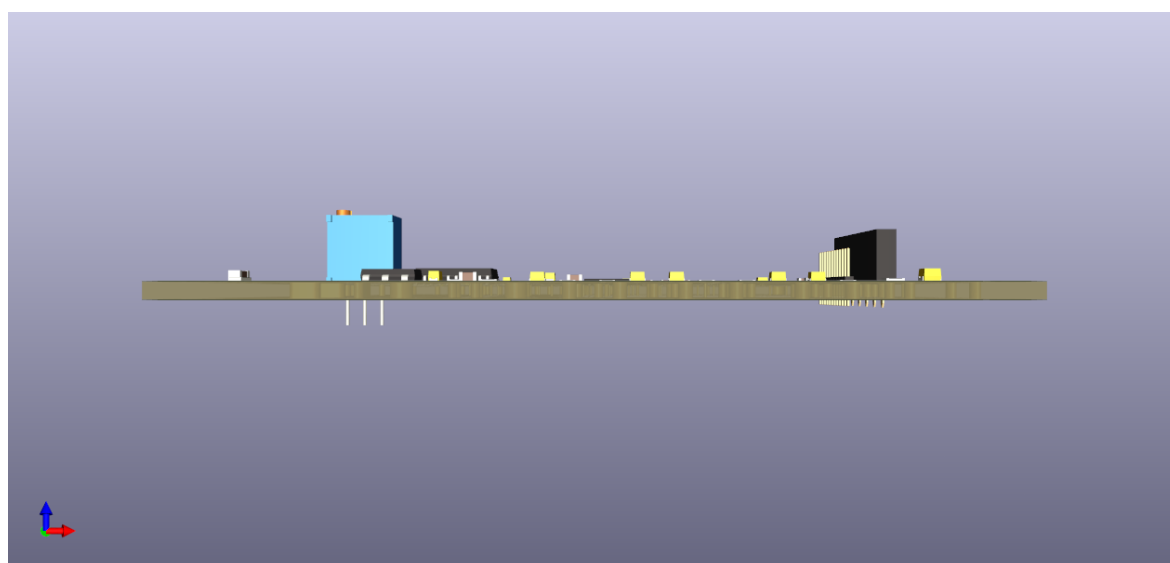


Figura 28 – Visão lateral da PCI em 3D.

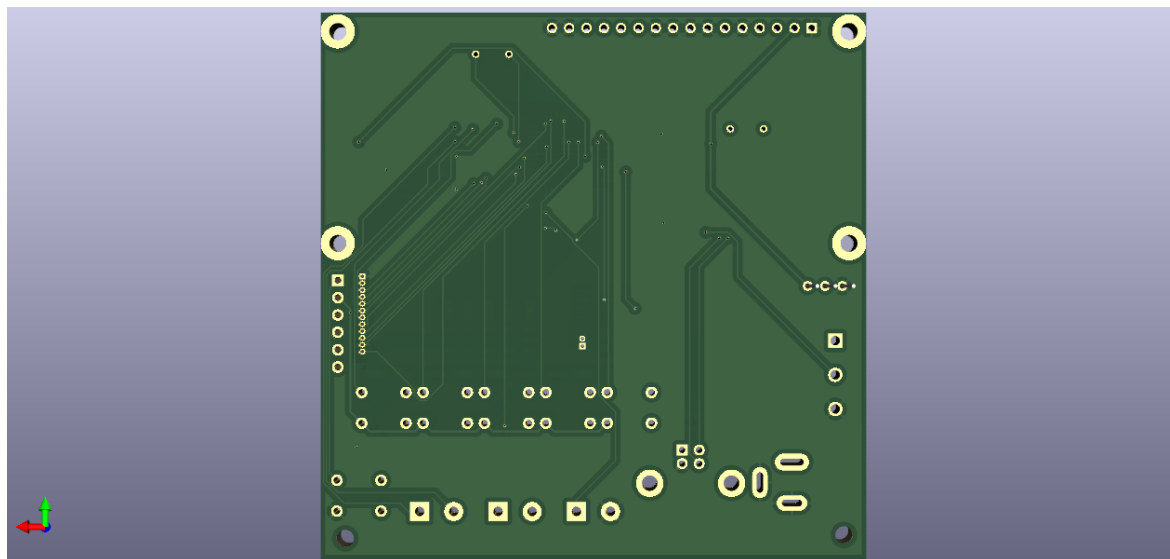


Figura 29 – Visão inferior da PCI em 3D.

5.4 Relatório de verificação de erros de projeto

```
Created on  **  
  
Found 0 DRC errors **  
  
Found 0 unconnected pads **  
  
End of Report **
```

Figura 30 – Relatório de verificação de erros.

6 Especificações elétricas

6.1 Níveis de alimentação suportados

O nível de alimentação suportado é de 7 a 12V em corrente contínua.

6.2 Faixa de níveis de consumo estimadas

Para estimar tal faixa, foram coletados os níveis de consumo dos principais componentes da placa, resultando em um circuito que opera em potências típicas de 2,5W.

6.3 Correntes e tensões máximas de entrada

As entradas analógicas operam de 0 a 12.5V em alta impedância.

6.4 Correntes e tensões máximas de saída

A saída PWM opera de 0 a 3,5V de tensão e de corrente, opera tipicamente em 40mA.

6.5 Características de comunicação

A comunicação com o usuário é estabelecida através da interface USB, que internamente é convertida para a comunicação UART. A UART é um protocolo de comunicação full-duplex, o que significa que a transmissão de dados ocorre simultaneamente nos dois sentidos, permitindo que a comunicação seja bidirecional. Nesse protocolo, os dados são transmitidos por meios distintos, garantindo uma comunicação eficiente e confiável entre os dispositivos envolvidos.

7 Operação da placa

7.1 Arquitetura

O software segue uma arquitetura de one single loop com uma máquina de estados que definirá as funções da placa. Inicialmente, ele realiza as configurações iniciais, que incluem instruções para definir os modos dos pinos e outras configurações de hardware, bem como a inicialização dos protocolos de comunicação. Em seguida, inicia o loop principal, que engloba várias etapas.

No início do loop, é feita a leitura do teclado para verificar se algum botão foi pressionado. Em seguida, ocorre a leitura da comunicação serial, que permite ter as mesmas funcionalidades dos botões. Além disso, por meio de um protocolo de comunicação, é possível configurar os valores exatos das variáveis de alarme.

O próximo estágio consiste na leitura dos valores das variáveis dos pinos analógicos que desejamos monitorar. Após isso, é realizada a verificação de alarme, na qual as variáveis monitoradas são comparadas com os valores de alarme configurados. Caso os valores estejam fora das faixas estabelecidas para os alarmes, os LEDs correspondentes são acionados.

Para ser mais específico, o Led 4 é acionado se a variável 1 for inferior ao alarme baixo 1. O Led 3 é acionado se a variável 1 for superior ao alarme alto 1. O Led 2 é acionado se a variável 2 for inferior ao alarme baixo 1. E, por fim, o Led 1 é acionado se a variável 2 for superior ao alarme alto 2.

Por fim, o display LCD é atualizado com um menu que reflete o estado atual do sistema. Essa informação também é enviada para o dispositivo conectado por comunicação serial com a placa. Após essa etapa, o loop reinicia e o processo se repete.

O processo em questão é representado na Figura 31, localizada logo abaixo, onde é possível observar claramente todas as referências mencionadas neste texto.

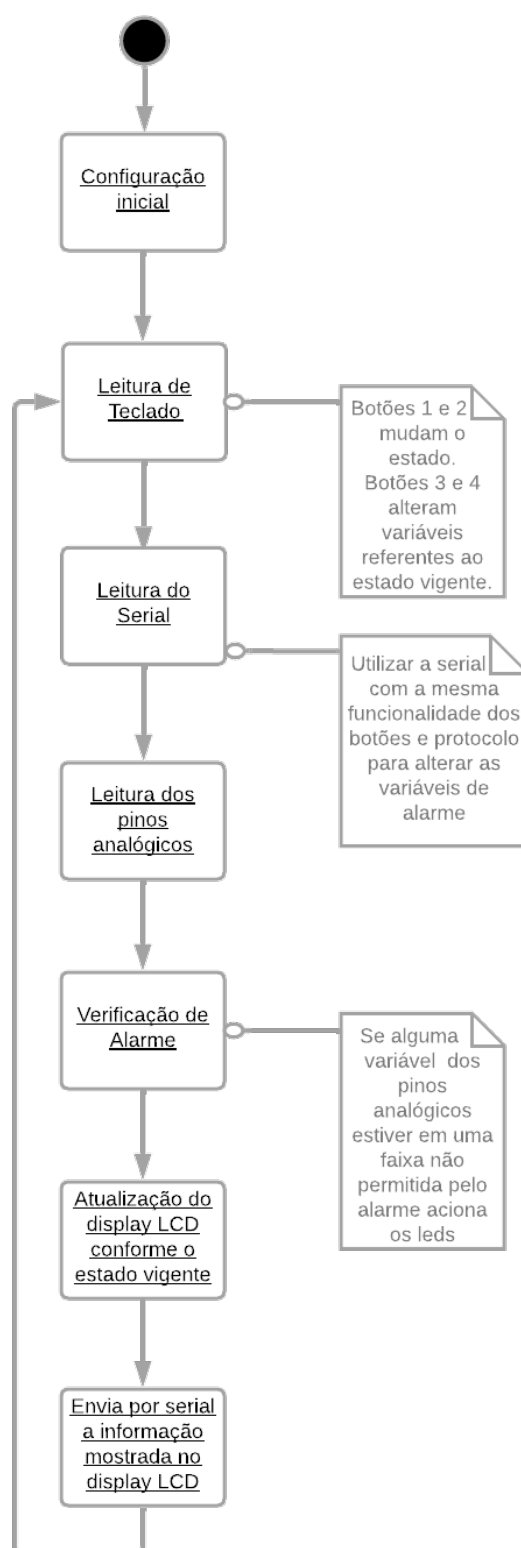


Figura 31 – Diagrama UML para arquitetura do software.

7.2 Diagramas de Estados

Este software possui 8 estados distintos, nos quais a máquina de estados inicia no estado "Tempo". Nesse estado, o relógio digital é lido e é possível aumentar e diminuir os minutos do horário. Em seguida, temos o estado "Valor da Variável 1", no qual apenas o valor lido da variável 1 do pino analógico é impresso no LCD.

O próximo estágio é a "Configuração do Valor de Alarme Baixo 1", em que o valor é impresso no LCD e é possível aumentar e diminuir esse valor. Em seguida, temos o estado "Configuração do Valor de Alarme Alto 1", com o mesmo funcionamento, mas para o valor de alarme alto 1.

Após esses estados, há três estados subsequentes que são análogos aos três estados anteriores, mas agora referentes à variável 2. Eles também apresentam seus próprios valores de alarme alto e baixo.

Por fim, após esses estados, chegamos ao estado "Idioma", onde é impresso o idioma atual e é possível alternar entre português e inglês. É importante destacar que essa máquina de estados não possui um estado final definido, ocorrendo uma alternância constante entre esses 8 estados. Portanto, é possível observar esses processos em questão na Figura 32, localizada logo abaixo.

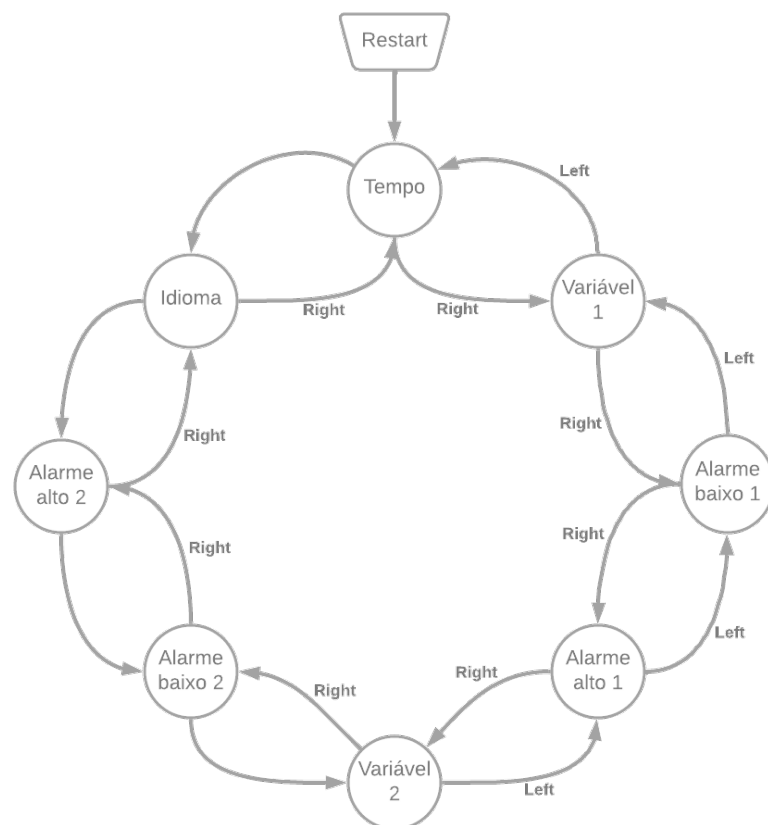


Figura 32 – Diagrama UML da máquina de estados.

As instruções abaixo revelam, de forma de simplificada, a forma de operar a placa:

Tabela 4 – Funções dos botões

Botões	Funções
Botão 1 da placa	Right
Botão 2 da placa	Left
Botão 3 da placa	Up
Botão 4 da placa	Down

1. O botão 1 é selecionado para alterar o estado vigente para o estado subsequente;
2. O botão 2 é selecionado para alterar o estado vigente para o estado anterior;
3. Ao acessar o estado Tempo o botão 3 é utilizado para aumentar 1 minuto e o botão 4 é utilizado para diminuir 1 minuto;
4. Ao acessar o estado Alarme baixo 1 o botão 3 é utilizado para aumentar a variável de configuração de Alarme baixo 1 e o botão 4 é utilizado para diminuir a variável de configuração de Alarme baixo 1;
5. Ao acessar o estado Alarme alto 1 o botão 3 é utilizado para aumentar a variável de configuração de Alarme alto 1 e o botão 4 é utilizado para diminuir a variável de configuração de Alarme alto 1;
6. De forma análoga ocorre para os estados de Alarme baixo 2 e Alarme alto 2;
7. Ao acessar o estado Idioma o botão 3 e o botão 4 são utilizados para alterar entre Português e Inglês.

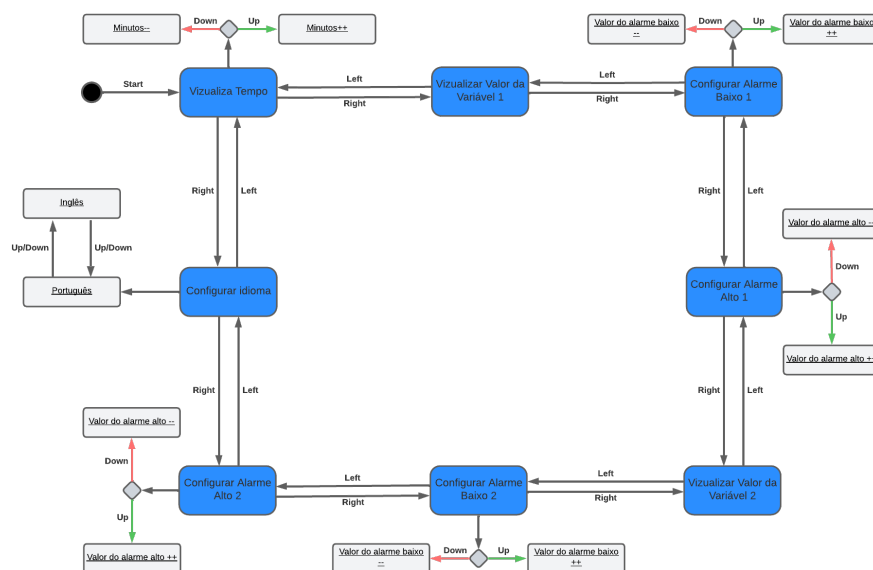


Figura 33 – Diagrama UML para operação da placa.

7.3 Diagrama de classe

Para melhor entendimento da relação entre as bibliotecas do software e visualização de suas operações foi desenvolvido um diagrama de classes, representado na Figura 34.

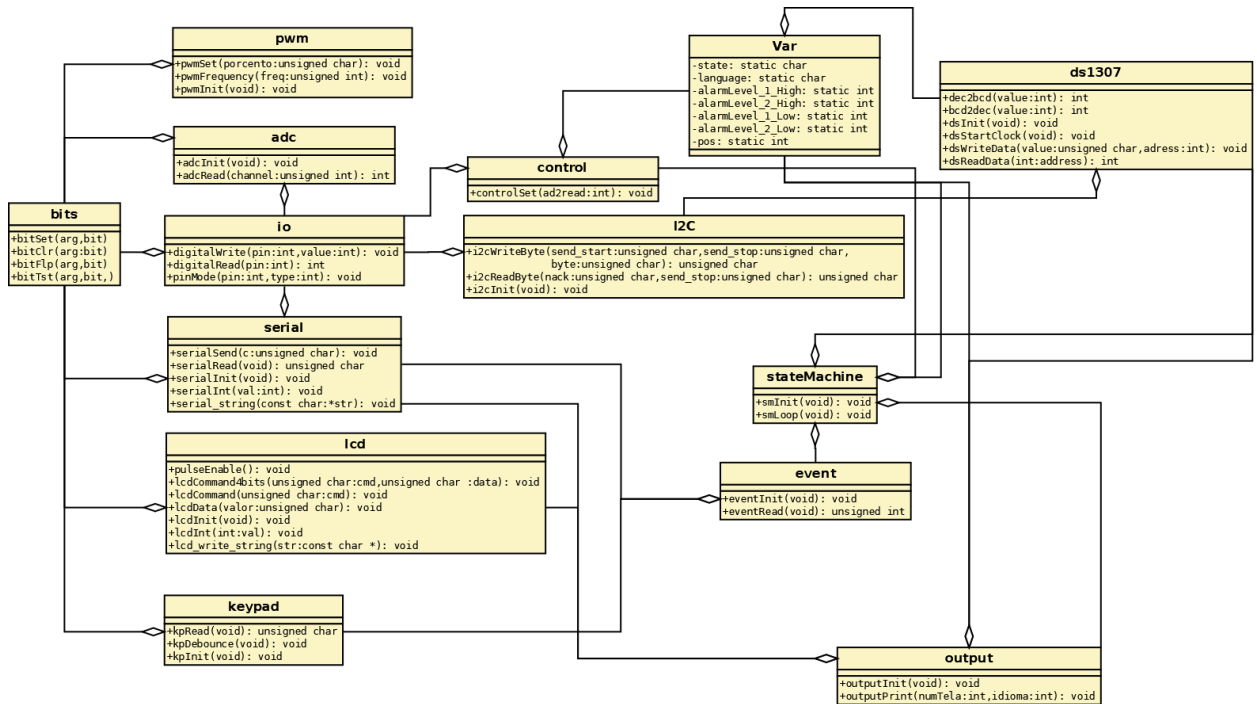


Figura 34 – Diagrama UML de classes.

7.3.1 Protocolo de mudança de alarmes via comunicação serial

O protocolo possibilita alterar ,por meio da comunicação serial, o valor das seguintes variáveis: "Alarme baixo 1", "Alarme baixo 2", "Alarme Alto 1"e "Alarme Alto 2". O protocolo inicia-se com o envio do caractere 'C'. Em seguida, envia-se o caractere '1' ou '2' para determinar qual variável de alarme deseja-se alterar. Utilize '1' para modificar o "Alarme baixo 1"ou "Alarme Alto 1", e '2' para alterar o "Alarme baixo 2"ou "Alarme Alto 2".

Em sequência, envia-se o caractere 'L' ou 'H', onde 'L' representa a alteração de um alarme baixo e 'H' indica a modificação de um alarme alto. Posteriormente, envia-se três caracteres que correspondem aos três dígitos do valor desejado para configurar a variável de alarme correspondente.

Por fim, utiliza-se o caractere 'F' para finalizar o protocolo. Ao verificar o cumprimento correto do protocolo, o valor da variável de alarme é alterado.

8 Montagem

Esta seção tem como objetivo apresentar a lista de compra de componentes eletrônicos, que será acompanhada pela próxima figura. A lista foi cuidadosamente elaborada para fornecer uma seleção abrangente dos principais elementos necessários para diversos projetos eletrônicos. Ela inclui uma variedade de componentes, desde microcontroladores e sensores até resistores e capacitores, todos selecionados com base em sua qualidade, disponibilidade e compatibilidade. A figura a seguir será um guia visual para auxiliá-lo na identificação dos componentes mencionados na lista, facilitando assim a aquisição dos materiais corretos.

8.1 Lista de compra

Referência no Projeto	Quantidade	Identificação do Fabricante	Tipo de peça	Fornecedor	Custo do componente (unitário)
C1/C3	2	C0805C104K5RAC7411	SMD	KEMET	US\$ 0,13
C2/ C4/ C5/ C6/ C7/ C8/ C9/ C10/ C11/ C12/ C13/ C14/ C15	13	F931C106KAA	SMD	AVX	US\$ 0,52
C3	1	HMJ212DC7105KGHTE	SMD	TAIYO YU-DEN	US\$ 0,41
C_PWM1	1	08051A200F4T2A	SMD	AVX	US\$ 0,45
C_PWM2	1	C0805X390M4HACTU	SMD	KEMET	US\$ 0,19
C_RTC_X1/ C_RTC_X2	2	C0805X220F5GA-CAUTO	SMD	KEMET	US\$ 1,24
C_USB_01	1	C0805X220F5GA-CAUTO	SMD	KEMET	US\$ 1,24
C_USB_02/ C_USB_02*1	2	C0805X390M4HACTU	SMD	KEMET	US\$ 0,19
C_X1/ C_X2/ C_X2*1	3	C0805X390M4HACTU	SMD	KEMET	US\$ 0,19
D_L1/ D_L2/ D_L3/ D_L4/ D_L5	5	LTST-C150GKT	SMD	Lite-On	US\$ 0,32
DA1	1	LTST-C150GKT	SMD	Lite-on	US\$ 0,32

Figura 35 – Primeira lista de compra.

J1	1	PJ-002A	THT	CUI Devices	US\$ 0,59
J2/ J5/ J6	3	OSTTA024163	THT	On Shore Technology Inc.	US\$ 0,73
J3	1	897-43-004-90-000000	THT	Mill-Max	US\$ 1,79
J_EXP6	1	OSTTA024163	THT	On Shore Technology Inc.	US\$ 0,73
J_ICSP1	1	PPTC101LFBN-RC	THT	Sullins Connector Solutions	US\$ 0,65
R2/ R5/ R6/ R7/ R8	5	PTN0805Y1002BST1	SMD	Vishay	US\$ 1,50
R3	1	ERA-6VEB4700V	SMD	Panasonic	US\$ 0,70
R9/ R10/ R11/ R12	4	RN73R2ATTD2401D25	SMD	KOA Speer	US\$ 0,39
R_B1/ R_B2/ R_B3/ R_B4/ R_B5	5	ERA-6VEB4701V	SMD	Panasonic	US\$ 0,70
R_DA1	1	CMP0805AFX-3300ELF	SMD	Bourns	US\$ 0,26
R_L1/ R_L2/ R_L3/ R_L4/ R_L5	5	CMP0805AFX-3300ELF	SMD	Bourns	US\$ 0,26
R_PWM1/ R_PWM2	2	SG73G2ATTD2002D	SMD	KOA Speer	US\$ 0,42
R_RST1	1	ERA-6VEB4701V	SMD	Panasonic	US\$ 0,70
R_RTC_MFP5	1	PTN0805Y1002BST1	SMD	Vishay	US\$ 1,50
RI2C1	1	ERA-6VEB4701V	SMD	Panasonic	US\$ 0,70
RI2C'1	1	ERA-6VEB4701V	SMD	Panasonic	US\$ 0,70
RV1	1	P160KN-0QC15B100K	SMD	TT Electronics	US\$ 0,85
SW1/ SW2/ SW3/ SW4/ SW5	5	1825910-6	THT	TE Connectivity	US\$ 0,11

Figura 36 – Segunda lista de compra.

SW_RESET1	1	1825910-6	THT	TE Connec- tivity	US\$ 0,11
U_A1	1	LD1117DT50TR	SMD	STMicroe- lectronics	US\$ 0,54
U_AMP5	1	LM324DG	SMD	Texas Instru- ments	US\$ 0,46
U_LCD1	1	JHD162A	THT	JHD	US\$ 7,41
U_PIC18F4450	1	PIC18F4550-I/PT	SMD	Microchip	US\$ 6,66
U_RTC5	1	MCP7940N-I/SN	SMD	Microchip	US\$ 0,78
U_USB_SE- RIAL_CON- VERSION1	1	MCP2200-I/SO	SMD	Microchip	US\$ 2,16
VR2	1	3296W-1-103RLF	THT	Bourns Inc.	US\$ 3,74
X_PIC1	1	ATS20A	THT	CTS Elec- tronic Com- ponents	US\$ 0,36
X_RTC5	1	AB38T-32.768KHZ	THT	ABRACON	US\$ 0,34
X_USB1	1	ATS12A	THT	CTS Elec- tronic Com- ponents	US\$ 0,36

Figura 37 – Terceira lista de compra.

8.2 Gravação do programa embarcado de validação

Para realizar a gravação do código na placa, é imprescindível contar com um gravador para ICSP (In-Circuit Serial Programming). Recomenda-se o uso do Pickit 3, devido à sua integração com o ambiente de desenvolvimento MPLAB X, além de oferecer um método confiável para programar o microcontrolador PIC18F4550. A utilização do Pickit 3 proporciona uma experiência mais fluida e eficiente, permitindo a programação segura e confiável do microcontrolador na placa.

9 Anexos

9.1 Código-fonte do programa de validação

O código de validação, junto com todas as bibliotecas para seu funcionamento, estão anexas ao arquivo do manual.

Referências

- 1 DATASHEET: LD1117DT50TR - Regulador de Tensão com Faixa de Entrada de 7-12V e Saída de 5V. 2020. <<https://br.mouser.com/datasheet/2/389/cd00000544-1795431.pdf>>. 13, 27
- 2 DATASHEET: PJ-002A - Conector de Energia para Alimentação Intermediária. 2019. <https://br.mouser.com/datasheet/2/670/pj_002a-1778764.pdf>. 13, 24
- 3 DATASHEET: LTST-C150GKT - Diodo Emissor de Luz para Indicação de Alimentação na Placa. 2005. <<https://datasheet.datasheetarchive.com/originals/dk/DKDS-9/177278.pdf>>. 14, 28
- 4 DATASHEET: MCP2200-I/SO - Transceptor USB-Serial para Comunicação e Conversão de Dados. 2018. <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11319/11319_8.PDF>. 14
- 5 DATASHEET: PIC18F4550-I/PT - Microcontrolador de Alto Desempenho para Projetos Eletrônicos Avançados. 2009. <<https://www.mouser.com/datasheet/2/268/39632e-48732.pdf>>. 14, 15, 17, 19, 28
- 6 DATASHEET: USB 897-43-004-90-000000 - Semi Conector USB para Integração e Comunicação Eficiente. 2018. <https://br.mouser.com/datasheet/2/273/MMMC_S_A0004806622_1-2555409.pdf>. 14
- 7 DATASHEET: PIC18F4550-I/PT - PPTC061LFBN-RC - Barra de Pinos para Gravação ICSP para Dispositivos Programáveis. 2017. <<https://11nq.com/8kMB9>>. 18
- 8 DATASHEET: 1825910-6 - Chave Tátil com Pull-Up para Reinício do Microcontrolador. 2022. <<https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=1825910&DocType=Customer+Drawing&DocLang=English&PartCntxt=1825910-6&DocFormat=pdf>>. 18, 28
- 9 DATASHEET: ATS520A - Cristal de Alta Precisão para Estabilidade de Relógios Eletrônicos. 2018. <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/591598/CTS/ATS20A.html>>. 19
- 10 DATASHEET: Trimmer 3296W-1-103RLF - Componente de Ajuste de Resistência para Controle de Luminosidade do Visor LCD. 2018. <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/144167/DBLECTRO/3296W.html>>. 21
- 11 DATASHEET: JHD162A - Visor LCD de 16x2 Caracteres com Controle de Luminosidade e Interface de Dados. 2018. <<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/127934/ETC1/JHD162A/96/1/JHD162A.html>>. 21
- 12 DATASHEET: LTST-C150GKT - LED de Alto Brilho para Aplicações de Sinalização e Indicação. 2005. <<https://datasheet.datasheetarchive.com/originals/dk/DKDS-9/177278.pdf>>. 22
- 13 DATASHEET: P160KN-0QC15B100K - Trimpot para Ajuste de Valores Contínuos com Precisão. 2005. <<https://br.mouser.com/datasheet/2/414/P160-1545428.pdf>>. 22

- 14 DATASHEET: MCP7940 Relógio de Tempo Real de Alta Precisão e Confiabilidade. 2008. <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/528845/MICROCHIP/MCP7940N.html>>. 23, 29
- 15 DATASHEET: Cristal AB38T-32.768KHZ estabilidade e Precisão para Aplicações de Relógios Eletrônicos. 2011. <<https://br.mouser.com/datasheet/2/3/ab38t-ab26t-1155464.pdf>>. 23, 29
- 16 SEDRA. *Microelectronic Circuits*. [S.l.], 2015. 24
- 17 DATASHEET: Amplificador Operacional LM324DG de Desempenho e Aplicações Versáteis. 2010. <<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/520685/ONSEMI/LM324DG/216/1/LM324DG.html>>. 26, 29