



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**Desenvolvimento de um *Teach Pendant*
para o Kit Educacional ED-7220C**

Douglas Vinícius do Nascimento Rodrigues

Campo Grande - MS

01 de junho de 2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Desenvolvimento de um *Teach Pendant* para o Kit Educacional ED-7220C

Douglas Vinícius do Nascimento Rodrigues

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência para
obtenção do grau de Bacharelado em
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Edson Antonio Batista

Campo Grande - MS

01 de junho de 2026

Desenvolvimento de um *Teach Pendant*
para o Kit Educacional ED-7220C

Monografia apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, para obtenção da
Graduação em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Edson Antonio Batista
Orientador

Prof. Dr. Cristiano Quevedo

Prof. Dr. Bruno Seneri

Campo Grande - MS
09 de junho de 2026

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade de conquistar meu objetivo de concluir o trabalho e também pela saúde e sabedoria ao longo dos anos para superar obstáculos e continuar minha dedicação aos meus sonhos.

Agradeço o apoio e o carinho de toda a minha família, em especial ao meu pai Rubens Rodrigues por sempre incentivar desde o começo a faculdade a continuar minha formação em um curso superior.

Queria agradecer ao meu orientador Professor Edson Antonio Batista pela disponibilidade e paciência de acompanhar o desenvolvimento do trabalho, orientando e fornecendo suporte nas diversas etapas do projeto.

RESUMO

A principal aplicação dos robôs consiste em realizar tarefas complexas e repetitivas, aumentando a confiabilidade e a produtividade em comparação à mão de obra humana. O robô é um dispositivo mecânico composto por atuadores que convertem a fonte de energia em movimentos físicos, nos quais um controlador é responsável por acionar os atuadores a realizarem movimentos até atingir a posição desejada. Para executar qualquer tarefa, é imprescindível o domínio da programação do robô, definindo todos os movimentos necessários em ordem sequencial com o intuito de atender todos os requisitos de performance exigidos a fim de obter êxito na atividade executada. O controlador do robô deve apresentar uma interface de comunicação com um dispositivo externo, que é fornecido pelo próprio fabricante, contendo um software desenvolvido para possibilitar ao usuário a realização da programação dos movimentos. O *Teach Pendant* é um tipo de controle presente nos robôs de aplicação industrial, com o *layout* simples, desenvolvido para treinar movimentos com a finalidade de executar uma tarefa específica de maneira automática, reduzindo, dessa forma, a intervenção humana no processo.

Palavras-chaves: robôs; atuadores, Controlador; Teach Pendant.

ABSTRACT

The primary application of robots is to perform complex and repetitive tasks, thereby increasing reliability and productivity compared to human labour. A robot is a mechanical device composed of actuators that convert a power source into physical movements, with a controller responsible for activating the actuators to perform movements until the desired position is reached. To perform any task, mastery of robot programming is essential, defining all necessary movements in sequential order to meet all performance requirements needed to successfully complete the activity. The robot controller must feature a communication interface with an external device, provided by the manufacturer, containing software designed to enable the user to program the movements. The Teach Pendant is a type of control found in industrial robots, featuring a simple layout, designed to teach movements for the purpose of automatically performing a specific task, thereby reducing human intervention in the process.

Keywords: robot, actuators; controller; Teach Pendant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conexão UART e Barramento de dados	15
Figura 2: Formato do pacote de dados do protocolo UART	15
Figura 3: Exemplo de transmissão de dados	16
Figura 4: Nível de tensão para transmissão de dados	16
Figura 5: Diagrama de ligação RS-232 para conector DB9.....	17
Figura 6: Exemplo aplicação do padrão RS-232	18
Figura 7: Parte equivalentes do robô com o braço humano	19
Figura 8: Diagrama de sistema robótico.....	20
Figura 9: Teach Pendant A05B-2255-C101#EAW	22
Figura 10: : Uso simultâneo de dois robôs R-2000ib/165F.....	22
Figura 11: Esquema de montagem no kit ED-7220C	23
Figura 12: Graus de liberdade do braço robótico	24
Figura 13: Posicionamento dos motores e chaves fim de curso	25
Figura 14: Controlador ED-MK4	26
Figura 15: Teach Pendant LD-7220-2C.....	27
Figura 16: Monitoramento de sinais do LD-7220-2C.....	28
Figura 17: Diagrama do Teach Pendant sem Fio.....	29
Figura 18: Fluxograma do retrofit do Teach Pendant	30
Figura 19: Placa DOIT ESP32.....	31
Figura 20: Diagrama de blocos simplificado MAX3232	32
Figura 21: Firebase Banco de dados RealTime	33
Figura 22: Diagrama de conexão de sinais	34
Figura 23: Captura de troca de informações do LD-7220-2C.....	34
Figura 24: Tempo de duração do pulso.....	35
Figura 25: Período de espera entre a recepção de dados e o pulso	35
Figura 26: Captura da inicialização LD-7220-C.....	38
Figura 27: Circuito montado na protoboard para teste	39
Figura 28: Esquema de ligação do sistema embarcado.....	40
Figura 29: Sistema embarcado para substituição do Teach Pendant	40
Figura 30: Interface Gráfica da pagina Web.....	41
Figura 31: Banco de dados em tempo real.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação de motores e junção	24
Tabela 2 - Coleta de dados comunicação serial	37

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

BRA British Robot Association

DOF Degrees-of-freedom

EIA/TIA Electronic Industry Association / Telecommunications Industry Association

JIRA The Japan Industrial Robot Association

LABSEM Laboratório de Sistemas Embarcados

RIA Robotics Institute of America

UART Transmissor/Receptor Assíncrono Universal

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos Gerais	12
1.2 Objetivos Específicos	12
1.3 Estrutura Do Trabalho	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Sistema Embarcado	14
2.2 UART	14
2.2.1 Transmissão de dados.....	15
2.3 RS-232	16
2.4 O Braço Robótico.....	18
2.4.1 Manipulador.....	19
2.4.2 Atuador	19
2.4.3 Junção.....	19
2.4.4 Link.....	19
2.4.5 Efetor final.....	19
2.5 Robô Articulado	20
2.6 Robô Industrial	20
2.7 Sistema Robótico	20
2.8 Teach Pendant.....	21
2.9 ED-7220C.....	23
2.9.1 ARM-7220-4.....	23
2.9.2 ED-MK4.....	25
2.9.3 LD-7220-2C.....	26
3 METODOLOGIA	28
3.1 ESP32	30
3.2 AX3232	31
3.3 Firebase.....	32
4 RESULTADOS.....	34
4.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO	34
4.2 Iniciação LD-7220-2C.....	38
4.3 Desenvolvimento do Teach Pendant sem fio	38
4.3.1 Hardware.....	38
4.3.2 Aplicação Web.....	41
5 CONCLUSÃO	43
6 REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

A robótica concentra-se nos estudos de máquinas para substituição de seres humanos na execução de tarefas, tanto no que diz respeito à atividade física quanto à tomada de decisões (SICILIANO, 2009). É um ramo multidisciplinar que abrange as áreas da mecânica, eletrônica e do software para a construção de robôs.

Um robô é definido pela ISO como um manipulador multifuncional e reprogramável com objetivo de mover materiais, peças, ferramentas através de movimentos programados para desempenhar diferentes tipos de tarefas. Existem mais definições em outras normas, como a RIA, JIRA e BRA, mas os conceitos de reprogramável e multifuncional permanecem como as principais características de definição (SAHA, 2014).

Por esse motivo, os robôs têm muitas aplicações, podendo ser classificados como industriais e não industriais (ou de propósito específico). Geralmente, eles são usados em atividades repetitivas e complexas, por isso observa-se ampla aceitação em aplicações industriais, devido a questões de segurança, confiabilidade, precisão e escalabilidade no processo de produção.

Para executar movimentos ou programação de tarefas, é necessário o uso de algum tipo de dispositivo com software específico de comunicação com o robô. O *Teach Pendant* é um tipo de controle presente nos robôs industriais, com o objetivo de ensinar movimentos para estabelecer uma sequência de passos para executar uma tarefa específica.

O kit educacional ED-7220C apresenta todas as características de um robô industrial, incluindo o *Teach Pendant* para treinamento do braço robótico, sendo possível realizar movimentos com a finalidade de mover objetos de lugar. Além disso, o *Teach Pendant* permite gravar programas para execução de tarefas, controlar a velocidade, calibrar e parar o robô imediatamente em casos de emergência.

1.1 Objetivos Gerais

O objetivo do trabalho é realizar um *retrofit* no *Teach Pendant* presente no kit ED-7220C com o objetivo de controlar o robô de forma remota por meio de uma API.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para esse trabalho são:

- i. Entender o protocolo de comunicação do *Teach Pendant*;
- ii. Embarcar eletrônica com o microcontrolador esp32 com acesso remoto;
- iii. Projetar uma API para interagir com o sistema embarcado;
- iv. Simplificar a interface de usuário para executar movimentos.

1.3 Estrutura Do Trabalho

Este trabalho está dividido em 5 capítulos para melhor apresentação e compreensão do tema proposto.

No primeiro capítulo, apresentam-se: uma introdução do conceito de robótica e sua importância; o tema do trabalho sobre *Teach Pendant* e sua relevância na programação de robôs e a definição dos objetivos a serem alcançados.

Já no segundo capítulo, abordam-se as definições e os conceitos fundamentais relacionados ao desenvolvimento do trabalho, explicando cada assunto pertinente em detalhes, por meio de uma revisão bibliográfica.

No terceiro capítulo, trata-se da metodologia adotada no trabalho para o *retrofit* do *Teach Pendant*.

No quarto capítulo, apresentam-se todos os resultados obtidos durante a pesquisa, desde a captura de sinais de comunicação do braço robótico até o desenvolvimento de hardware.

Por fim, o quinto capítulo abrange as conclusões dos resultados obtidos durante a execução do trabalho, avaliando se os objetivos propostos foram atingidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema Embarcado

São sistemas eletrônicos contendo microprocessador, com o objetivo de desempenhar uma função específica, na qual, geralmente, não é alterada após ser programada. Atualmente, a maioria dos dispositivos que dependem de eletricidade possui um sistema embarcado para gerenciar o seu próprio funcionamento (ALMEIDA, 2016).

Os sistemas embarcados apresentam recursos escassos, tanto no aspecto computacional: microprocessador, memórias; quanto no aspecto físico: número terminais (entradas e saídas) e interfaces de comunicações (ALMEIDA, 2016). A limitação de hardware deve-se pela busca do custo-benefício do dispositivo, otimização do consumo de energia e robustez do sistema.

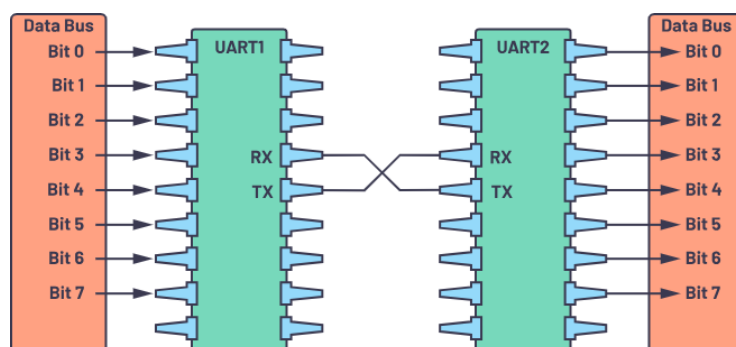
2.2 UART

A UART (*Transmissor/Receptor Assíncrono Universal*) é um protocolo de comunicação muito utilizado quando dois dispositivos precisam trocar informações entre si, com a opção de usar padrões de comunicações conhecidos, como o RS-232 e RS-485. O protocolo de comunicação é responsável por organizar o modo de comunicação entre dispositivos (PEÑA, s.d). Para uma comunicação bem-sucedida, são necessárias regras específicas que devem ser obedecidas em ambos os dispositivos.

Pode-se encontrar a UART em sistemas embarcados, microcontroladores e computadores para comunicar com outros tipos de dispositivos externo. Por ser tratar de uma comunicação assíncrona, não é necessário o uso de um relógio (*clock*) de sincronização na transferência e recepção de dados (PEÑA, [s.d]), mas deve-se definir a mesma velocidade na taxa de transmissão de bits por segundo (*baud rate*) para ocorrer a conversão correta de dados.

A transmissão e a recepção de uma informação ocorrem no máximo em um byte, que percorre, na linha de transmissão/recepção, o bit a bit até formar o vetor completo com um byte conforme representado na Figura 1.

Figura 1: Conexão UART e Barramento de dados

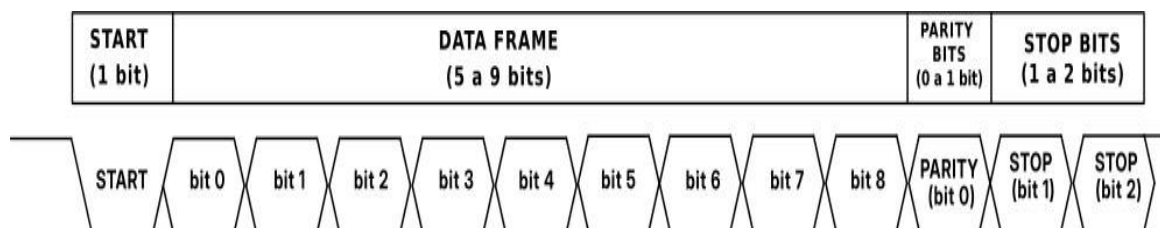


Fonte: (PEÑA, s.d.)

2.2.1 Transmissão de dados

Na transmissão de dados, deve-se seguir o formato do pacote do protocolo de acordo com a Figura 2, sendo o primeiro bit para indicar o início da comunicação, depois o dado a ser transmitido em um *frame* de no máximo um byte, bit de paridade e, por último, o bit de parada para finalizar a transmissão. Os dois dispositivos devem estar preparados para receber e enviar os dados no mesmo formato, garantindo assim êxito na comunicação.

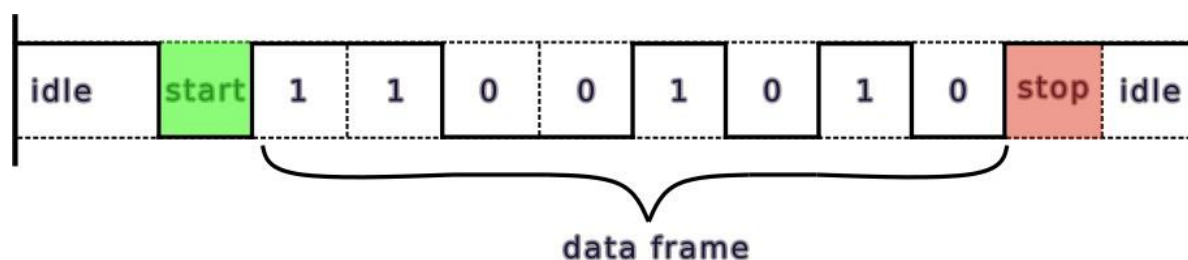
Figura 2: Formato do pacote de dados do protocolo UART



Fonte: Autor

A Figura 3 é um exemplo de transmissão de dados com os seguintes parâmetros: frame do tamanho de 8 bits, sem bit de paridade e 1 bit de parada,

Figura 3: Exemplo de transmissão de dados



Fonte: Autor

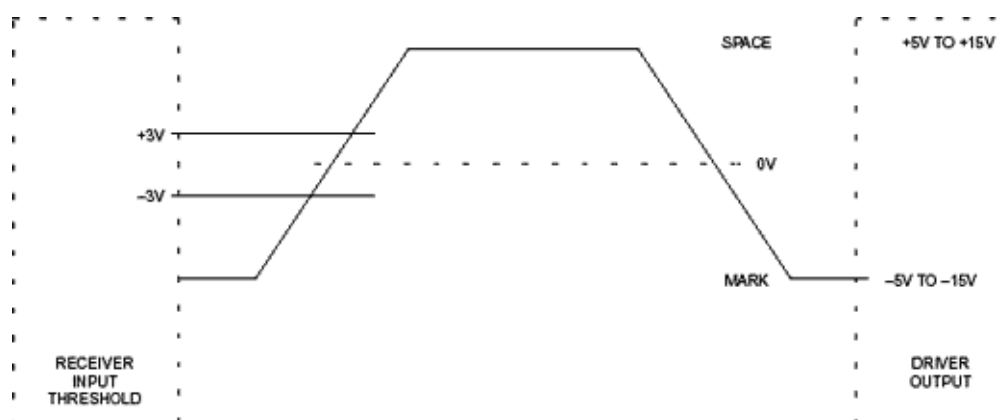
2.3 RS-232

O RS-232 (*Recommended Standard - 232*) é um padrão de comunicação serial adotado entre dois dispositivos distintos. Atualmente, encontra-se na versão EIA/TIA-232-F, lançada em 1997, na qual a última letra indica a versão em ordem alfabética, portanto, a letra "F" se refere à sexta atualização na padronização (ANALOG DEVICE, 2001).

O padrão de comunicação define as características elétricas do sinal, a interface de comunicação física e os sinais de controle entre os dispositivos a fim de uma transferência de dados sincronizados, denominada como *Handshake* (*Interface Circuits for TIA/EIA-232-F*, 2002).

As linhas de transmissão/recepção do RS-232 operam em tensões positivas e negativas. Na Figura 5, são apresentados os limiares do sinal, nos quais o nível lógico 0 é identificado com nível de tensão positiva entre 3 V e 15 V, e o nível lógico 1 é identificado com nível de tensão negativo entre -3 V e -15 V.

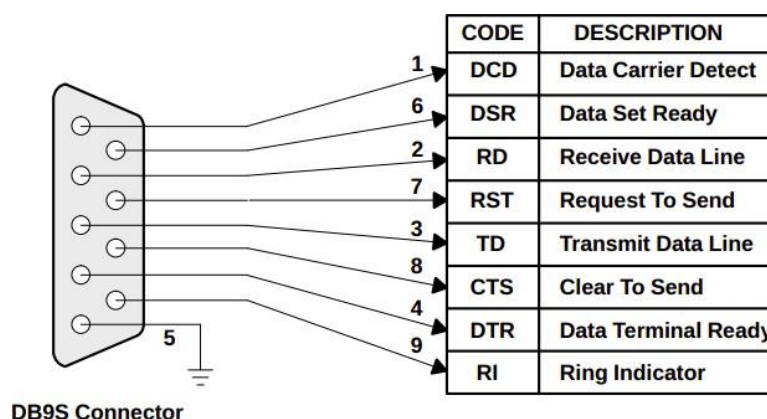
Figura 4: Nível de tensão para transmissão de dados



Fonte: (ANALOG DEVICE, 2001)

O RS-232 recomenda o uso de cabos curtos entre os dispositivos de até 15 metros e define a taxa máxima de transferência de *baud rate* em 20 kbps. Geralmente para a transferência de dados entre os dispositivos são necessárias somente as linhas de transmissão (TD) e recepção (RD) de dados. A interface completa de conexões físicas no conector DB9 é exibida na Figura 5.

Figura 5: Diagrama de ligação RS-232 para conector DB9



Fonte: (Interface Circuits for TIA/EIA-232-F, 2002)

As funções de cada sinal do padrão RS-232 são:

DCD: Sinal enviado do *Data Communication Equipment* (DCE) para o *Data Terminal Equipament* (DTE) informando o recebimento de um sinal portador do DCE remoto.

DSR: Sinal do DCE para informar o DTE sobre a conexão na linha.

RD: Linha serial para receber dados.

RTS: Sinal do DTE para indicar que está pronto para transmitir, então o DCE deve-se preparar para a transmissão de dados.

TD: Linha serial para transmitir dados.

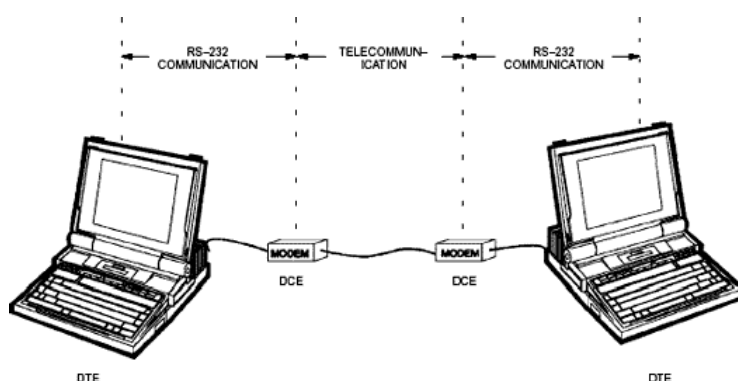
CTS: Sinal do DCE para indicar que está pronto para receber os dados.

DTR: Sinal do DTE ativado em conjunto com o DSR para indicar que dispositivo está pronto para enviar e receber dados.

RI: É o indicador de chamada ativado pelo DCE enquanto o dispositivo está recendo toque no canal de comunicação.

A norma EIA/TIA-232-F caracteriza a comunicação entre o dispositivo DTE e o DCE para descrever o comportamento da padronização da comunicação, na Figura 6 é retratado um exemplo de aplicação de troca de dados de modems por meio de telecomunicação e o uso do padrão RS-232 para transmitir as informações recebidas do modem para o computador (ANALOG DEVICE, 2001).

Figura 6: Exemplo aplicação do padrão RS-232

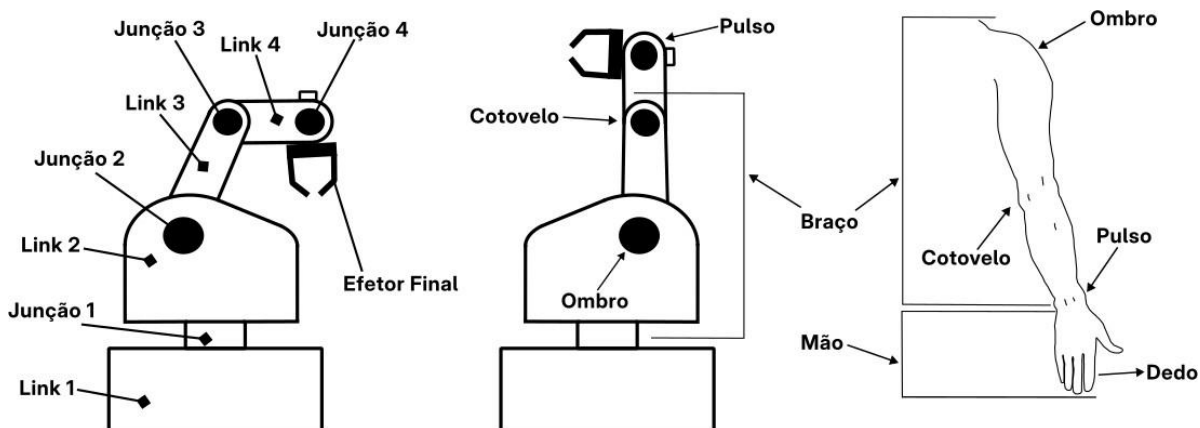


(ANALOG DEVICE, 2001)

2.4 O Braço Robótico

O braço robótico tem o objetivo de reproduzir os movimentos de um braço humano, conforme ilustrado na Figura 6. Sua aplicação é mover objetos com precisão, o que é necessária para diversos tipos de tarefas.

Figura 7: Parte equivalentes do robô com o braço humano



Fonte: Autor

2.4.1 Manipulador

É considerado a parte física que realiza movimentos, incluindo os atuadores, junções e desconsiderando o efetor final.

2.4.2 Atuador

Os atuadores de um robô são dispositivos responsáveis por converter energia elétrica, pneumática ou hidráulica em movimentos.

2.4.3 Junção

Parte mecânica do robô conectada ao corpo rígido capaz de realizar movimentos relativos entre si.

2.4.4 Link

Corpo rígido que pode ter mais de uma conexão com outros corpos rígidos por meio de junções.

2.4.5 Efetor final

Interface mecânica do robô conectada ao final do manipulador. Ela permite que o robô execute tarefas, pode se configurar uma pinça, pistola de solda e ferramentas especializadas.

2.5 Robô Articulado

É considerado apenas um robô articulado aquele manipulador que possuir pelo menos três juntas rotativas.

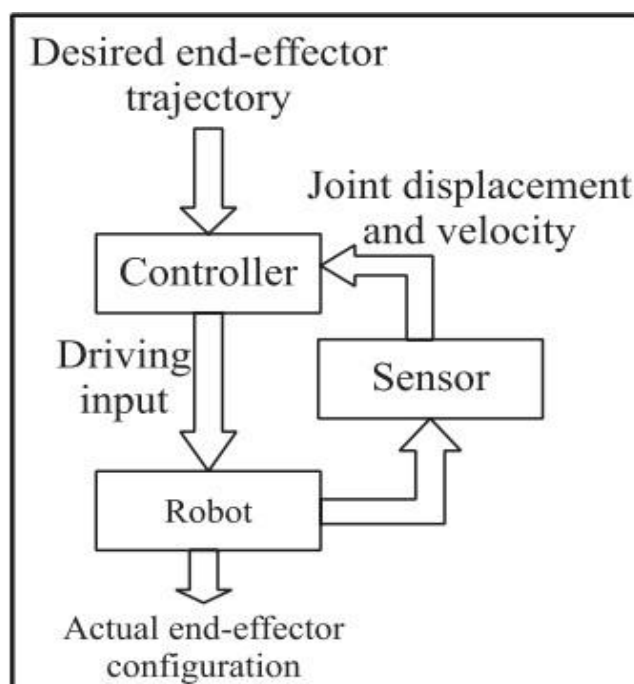
2.6 Robô Industrial

O robô industrial de acordo com a ISO 8373, deve apresentar controle automático de manipulador multifuncional e reprogramável em pelo menos três eixos, podendo estar em plataforma fixa ou móvel em aplicações industriais.

2.7 Sistema Robótico

Um sistema robótico é composto por sensores, atuadores, efetores finais e robô industrial. Na Figura 8, ilustra-se o funcionamento do sistema genérico, no qual a entrada deve ser a posição desejada do efector final. O controlador, por sua vez, deve fornecer sinais para o *driver* de entrada dos atuadores com o objetivo de mover determinadas junções do robô. Já os sensores monitoram a posição e a velocidade, além de fornecerem um *feedback* para que o controlador ajuste os atuadores até que o robô atinja a posição desejada.

Figura 8: Diagrama de sistema robótico



Fonte: (SAHA, 2014)

2.8 Teach Pendant

Os robôs industriais são máquinas capazes de lidar com os inúmeros processos de fabricação na linha de produção. Ao longo dos anos, estão cada vez mais sofisticados, executando desde tarefas complexas até atividades antes consideradas possíveis somente com a mão de obra humana. O robô deve ser previamente programado antes de realizar uma tarefa. O *Teach Pendant* é um dispositivo consolidado na programação de robôs industriais e, por isso, é imprescindível em um sistema robótico (Robots Done Right, s.d).

O *Teach Pendant* são dispositivos portáteis, apresentando tanto versões com conexão física com o robô por meio de cabo quanto versões sem fio (*wireless*), ele é, usualmente, incluso no sistema de controle ao adquirir o robô industrial. O *layout* pode ser composto por botões; ou ainda em dispositivos mais modernos, tela sensível ao toque (*touchscreen*) para inserir a instrução de programação para o robô. Além disso, o dispositivo contém um *display* para exibir as informações relevantes, como a visualização de dados dos sensores, a edição de comandos de programação e o histórico de comandos do robô (Robots Done Right, s.d). Devido ao tamanho físico reduzido, o teclado apresenta poucos botões, então o método de programação deve ser otimizado, sendo o mais simples possível.

Para a segurança no processo industrial, o *Teach Pendant* possui um botão de emergência vermelho localizado na parte superior. Este tem a função de interromper imediatamente o sistema robótico caso aconteça algum acidente durante o treinamento ou na execução de uma tarefa. Desse modo, a segurança física dos funcionários da indústria é garantida.

Os modelos com conexão sem fio permitem ao operador realizar o controle do robô remotamente, eliminando a necessidade de deslocamento para um lugar fixo, próximo ao sistema de controle robótico. Além disso, o controle do robô industrial ocorre de forma mais segura, proporcionando ao operador distância de ambientes perigosos (Robots Done Right, s.d).

Os robôs industriais são projetados para executar tarefas repetitivas. O uso do *Teach Pendant* para programar demonstra a viabilidade do uso desse equipamento, pois são necessários poucos recursos para construir programas com movimentos repetitivos, nos quais os parâmetros configuráveis, na maioria dos casos, são as junções e a velocidade do robô.

O FANUC R-2000ib/165F é um exemplo de robô industrial com 6 juntas, projetado para mover peças e fazer solda de ponto, atividade que é presente na fabricação de carros, além de aceitar diferentes modelos de *Teach Pendant* de mesmo fabricante. A Figura 9 e a Figura 10, apresentam respectivamente, o modelo compatível A05B-2255-C101#EAW e um exemplo de aplicação de robôs que atua de forma conjunta, isto é, tanto para movimentar e quanto para soldar uma peça metálica.

Figura 9: Teach Pendant A05B-2255-C101#EAW



Fonte: (Robots Done Right, s.d.)

Figura 10: : Uso simultâneo de dois robôs R-2000ib/165F

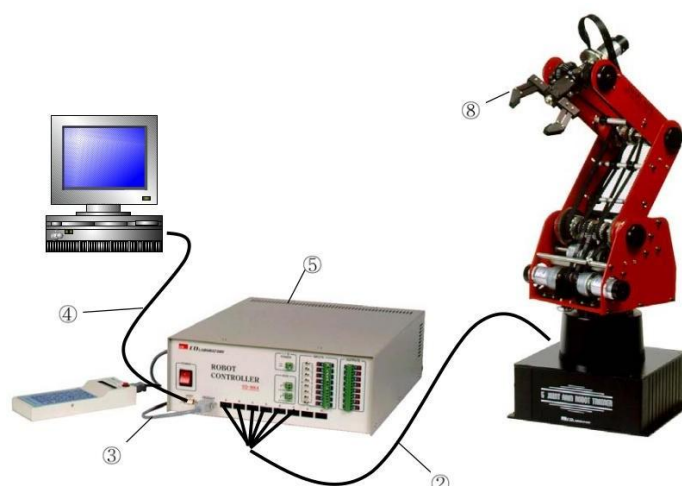


Fonte: (FANUC CORPORATION, 2006)

2.9 ED-7220C

O ED-7720C é um kit educacional de robótica da empresa *ED Corporation*, amplamente utilizado em cursos de engenharia e contém elementos típicos usados nas aplicações de robôs industriais: braço robótico (ARM-7220-4), controlador (ED-MK4), *Teach Pendant* (LD-7220-2C) e o CD com o *Software* para computador (ED-72C *Robo Talk* CD).

Figura 11: Esquema de montagem no kit ED-7220C

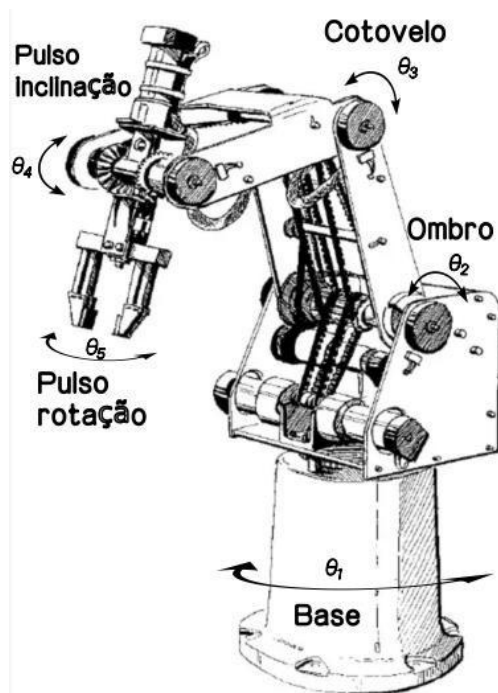


Fonte: (ED Corporation, s.d.)

2.9.1 ARM-7220-4

ARM-7220-4 é o braço robótico do kit educacional composto por um manipulador de 5 junções e uma pinça anexada na sua extremidade como efector final. Seus movimentos são realizados a partir de 6 motores CC com *encoders* acoplados nas junções e à pinça. O robô representa as seguintes partes do braço humano: base, ombro, cotovelo e pulso. A maioria das junções do braço robótico possuem somente um grau de liberdade, termo técnico conhecido como Dof (*degree of freedom*). O pulso do robô realiza o movimento de rotação e inclinação, tornando-o mais apropriado para tarefas de mover objetos de tamanho compatível com a pinça.

Figura 12: Graus de liberdade do braço robótico



Fonte: (Intelitek Inc, 2001)

Os movimentos ocorrem mediante a seleção individual de um motor, responsável por acionar a junção correspondente. A identificação dos motores é realizada por meio de letras, conforme apresentado na Tabela 1.

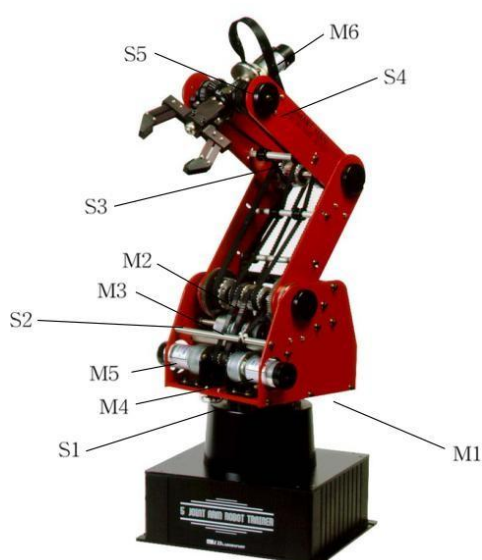
Tabela 1- Relação de motores e junção

JUNÇÃO	MOTOR	Range de Movimento
PULSO	B	$\pm 130^\circ 360^\circ$
	C	
COTOVELO	D	$\pm 130^\circ$
OMBRO	E	$35^\circ / 130^\circ$
BASE	F	310°

Fonte: Autor

Para a calibração do braço robótico ARM-7220-4, são empregadas 5 chaves de fim curso distribuídas pelo robô, com o objetivo de determinar com precisão a posição inicial de cada *encoder*, na Figura 13, a localização dos motores é representada pela letra M e das chaves, pela letra S, onde são 5 motores para as junções e 1 motor para a pinça.

Figura 13: Posicionamento dos motores e chaves fim de curso

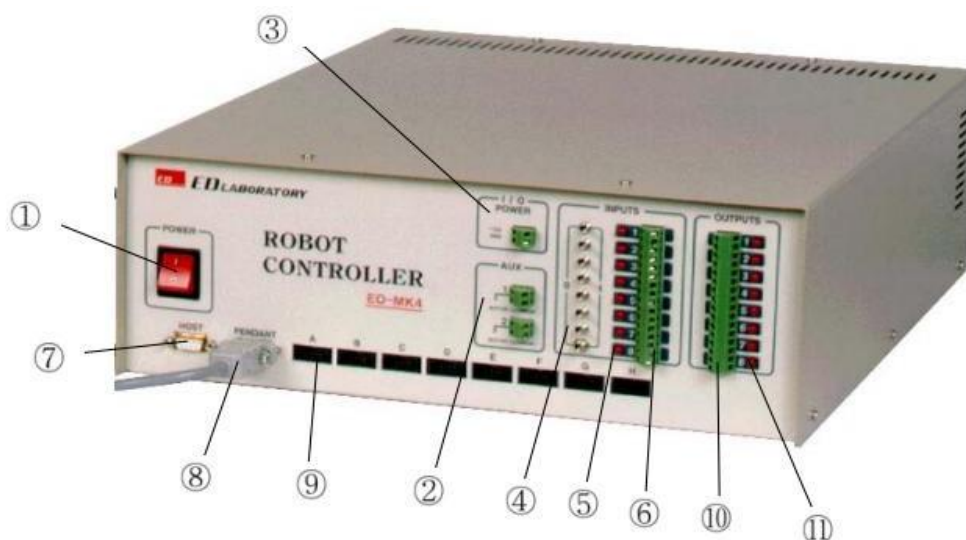


Fonte: (ED Corporation, s.d.)

2.9.2 ED-MK4

O controlador ED-MK4 é conectado diretamente com o braço robótico ARM-7220-4, controlando os 6 motores presente no braço robótico por meio do *Teach Pendant* ou computador.

Figura 14: Controlador ED-MK4



Fonte: (ED Corporation, s.d.)

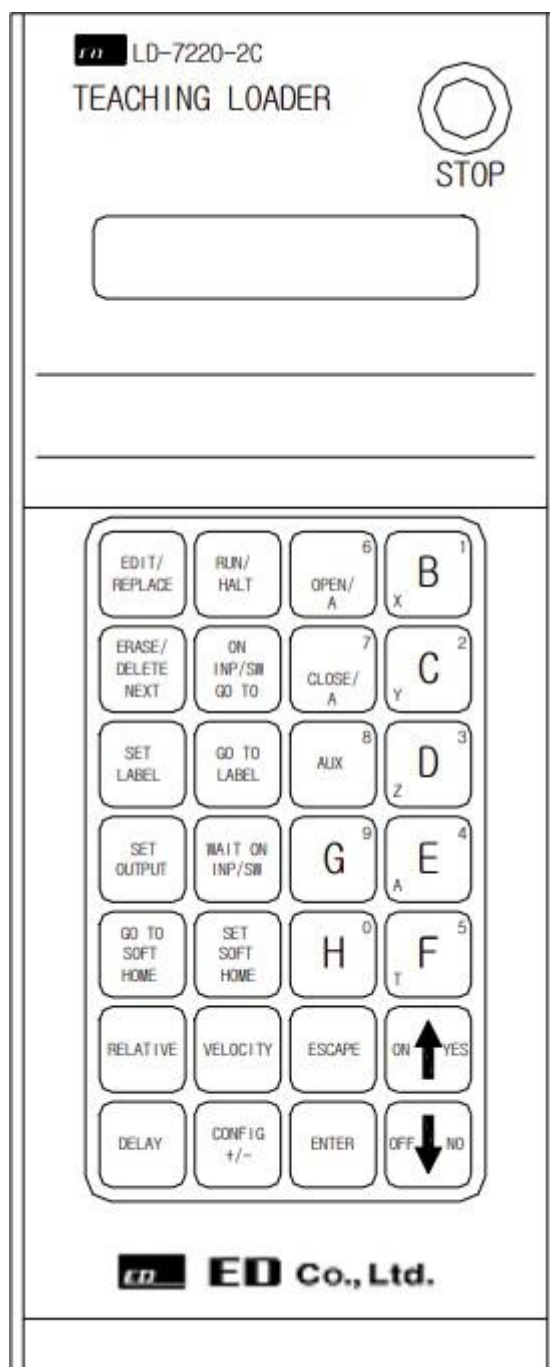
O controlador do braço robótico apresenta os seguintes recursos:

- Interruptor de alimentação do controlador (1);
- Porta de comunicação serial para o computador (7);
- Porta de comunicação serial RS232-C para o *Teach Pendant* (8);
- Cabo flat para controle dos motores CC (9);
- 2 portas auxiliares para motores CC (2);
- Fonte de 12 VCC (3);
- 8 chaves de entradas digitais (4);
- 8 terminais de Entrada digital com Led indicador (5) e (6);
- 8 terminais de Saída digital com Led indicador (10) e (11)

2.9.3 LD-7220-2C

O *Teach Pendant* LD-7220-2C possui interface de conexão serial RS232C com o controlador do robô ED-MK4 por meio de um cabo com o conector DB9. O dispositivo contém: um microcontrolador de 8 bits, um display LCD 16x2, um teclado matricial 4x7 e um botão de STOP próprio para situações de emergências.

Figura 15: Teach Pendant LD-7220-2C



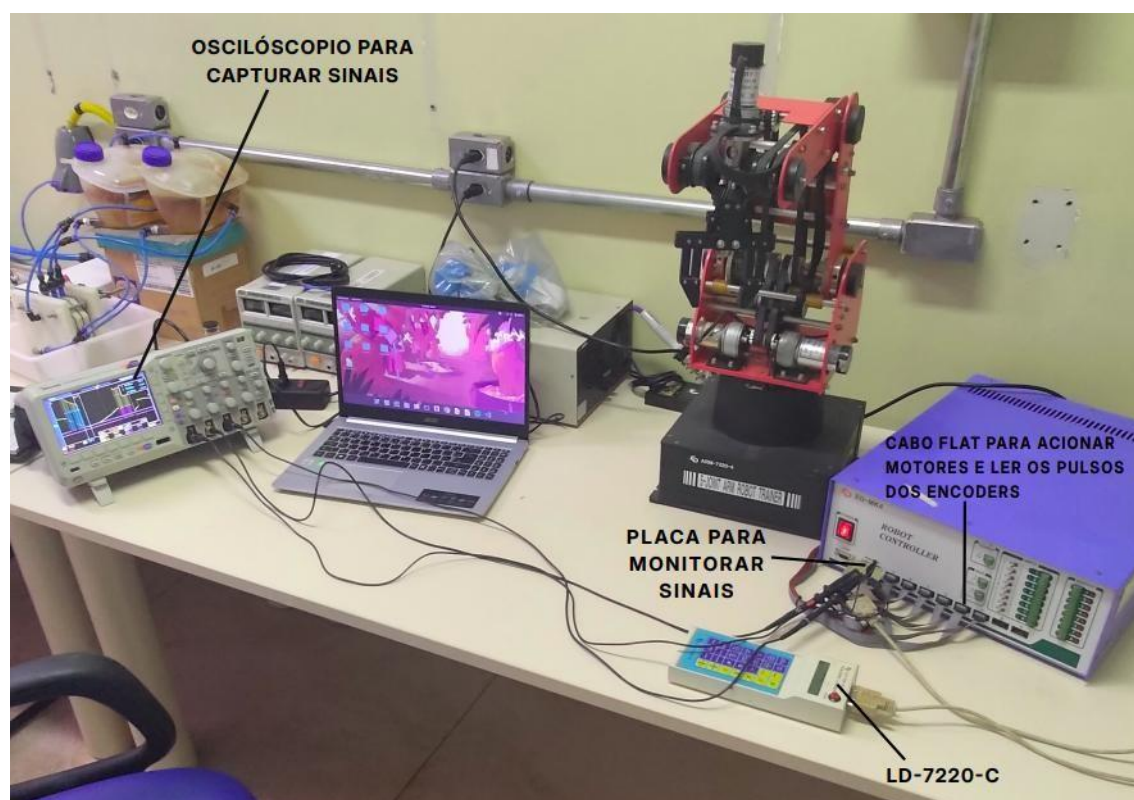
Fonte: (ED Corporation, s.d.)

Com o LD-7220-2C é possível: controlar o braço robótico por meio dos motores B, C, D, E e F; abrir e fechar a pinça (efetuador final); criar programas para executar tarefas; retornar o robô para a posição inicial (HARD HOME e SOFT HOME); ler os valores de entradas digitais; acionar as saídas do controlador ED-MK4 e controlar a velocidade.

3 METODOLOGIA

De acordo com o manual do kit educacional ED-7220-C, o *Teach Pendant* LD-7220-2C apresenta uma porta de comunicação serial RS-232C para o controle do braço robótico. Para localizar as linhas de transmissão e recepção de dados, bem como outros sinais de relevância entre o controlador e o *Teach Pendant*, foi montado uma placa perfurada com *jumpers* (fios condutores utilizados em prototipagem) a fim de monitorar os sinais durante o uso do LD-7220-2C no laboratório LABSEM.

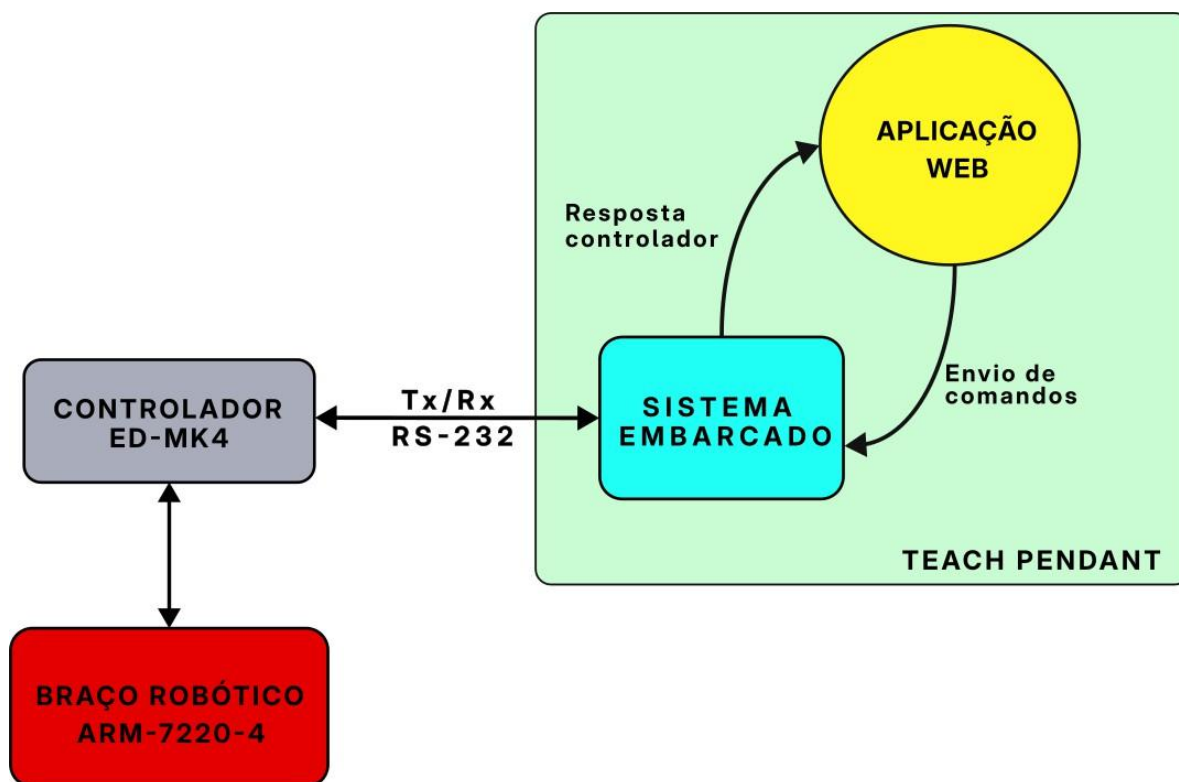
Figura 16: Monitoramento de sinais do LD-7220-2C



Fonte: Autor

O sistema embarcado deve substituir o dispositivo LD-7220-2C de modo que tenha conexão à internet, possibilitando assim o controle do robô de forma remota por meio de uma aplicação de web, o que é representado no diagrama da Figura 16.

Figura 17: Diagrama do Teach Pendant sem Fio

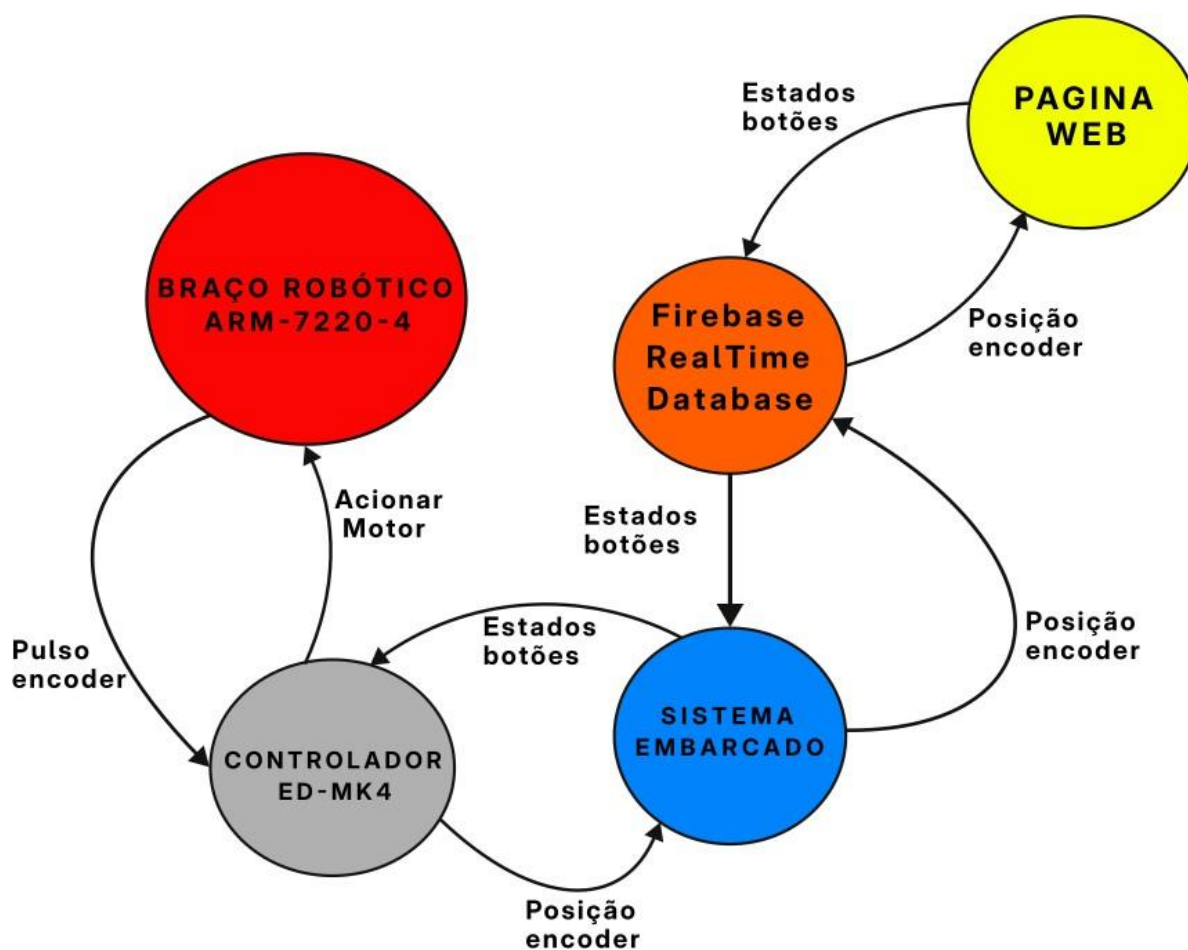


Fonte: Autor

A aplicação Web é um software executado em um navegador de internet (AWS, [s.d]). O trabalho da aplicação Web será em uma página Web com comunicação com um banco de dados em tempo real do *Firebase*, onde ela será responsável por fornecer a interface gráfica com os botões para controlar a posição de cada motor do braço e registrar as situações dos botões no banco de dados em tempo real. O sistema embarcado deve consultar o banco de dados e enviar os estados dos botões para o controlador do robô pela interface RS-232 e, por fim, o controlador deverá acionar o motor. O Braço robótico retorna pulsos para o controlador enquanto está em movimento, e o controlador faz a soma do valor de pulsos para determinar a posição do *encoder* e retorna tal informação ao sistema embarcado (*Teach Pendant*). Após receber a posição do *encoder*, o sistema embarcado a registra no banco de dados e, por último, a página Web exibe o valor da posição na interface gráfica. Na Figura 17,

é fornecido o fluxograma detalhado do funcionamento do *retrofit* do Teach Pendant LD-7220-2C.

Figura 18: Fluxograma do retrofit do Teach Pendant



Fonte: Autor

3.1 ESP32

É uma família de microcontroladores de baixo custo fabricados pela empresa Espressif, neles, incluem-se os recursos de comunicação sem fio como *Wi-Fi* e *Bluetooth*, que facilitam a implementação de aplicações de sistemas embarcados com acesso à internet e a interação com aplicativos de celular. Neste trabalho foi utilizado o ESP-WROOM-32 utilizado na placa de desenvolvimento DOIT ESP32 que apresenta as seguintes especificações:

- CPU Xtensa dual-core LX6 32 bits 240 MHz;
- Tensão de alimentação de 3,3 V a 5 V;

- Flash: 4 MB;
- ROM: 448 KB;
- SRAM: 520 KB;
- Wi-Fi;
- Bluetooth;
- 32 GPIO;
- 4 SPI;
- 12 SAR ADC;
- 3 UART.

Figura 19: Placa DOIT ESP32



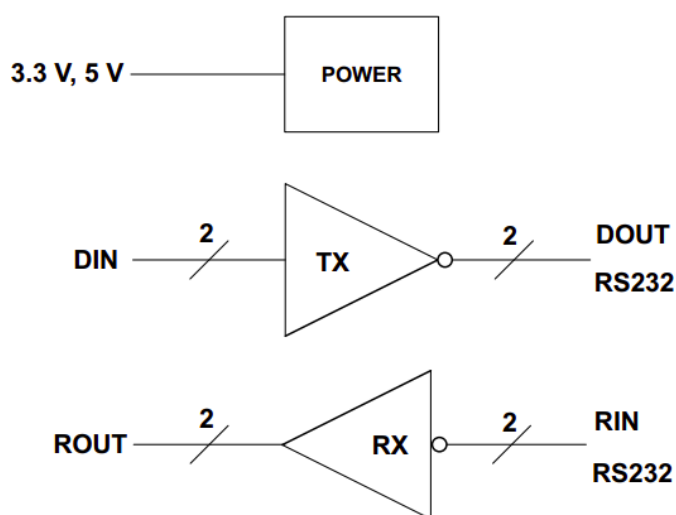
Fonte: Autor

O esp32 foi escolhido como microcontrolador do sistema embarcado porque contém: portas UART de comunicação serial com o controlador e *Wi-Fi* para conexão com a internet, este possibilita a consulta e inserção de informações no banco de dados.

3.2 AX3232

O MAX3232 é um *driver* com dois canais de transmissão e recepção para comunicação serial assíncrona entre dispositivos com a especificação RS232 compatível até a versão TIA/EIA-232-F e dispositivos com nível lógico em tensões de 3,3 V a 5 V (Texas Instruments, s.d). Na Figura 20 é retratado o diagrama de bloco simplificado do conversor serial.

Figura 20: Diagrama de blocos simplificado MAX3232



Fonte: (Texas Instruments, s.d)

Esse chip contém todos os recursos necessários para ser usado para comunicar o ESP32 que opera em tensões de 3,3 V com o controlador do braço robótico e por isso será usado na eletrônica do sistema embarcado.

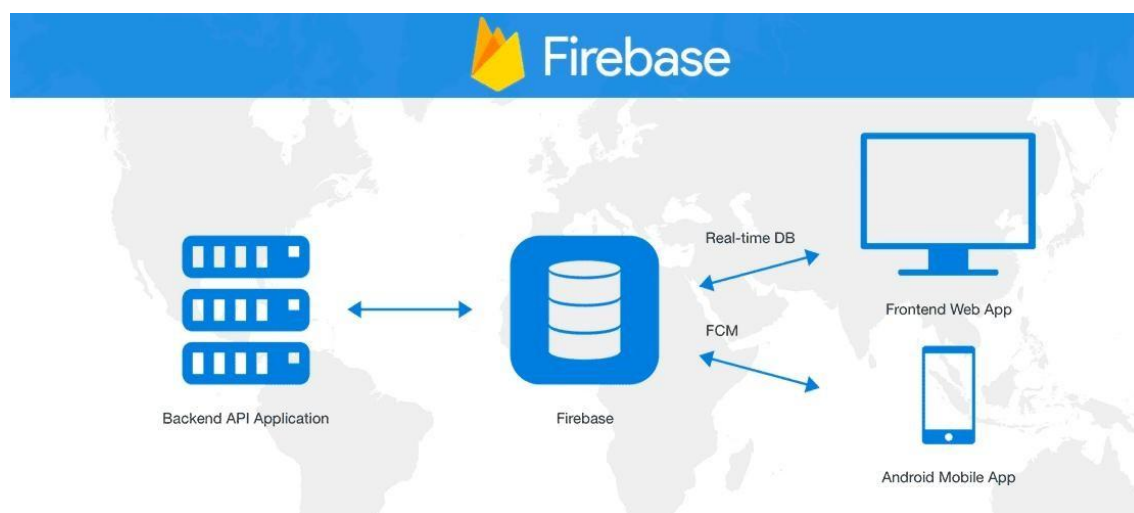
3.3 Firebase

No desenvolvimento de software são muitas ferramentas disponíveis para criação de aplicações web. O Firebase é uma plataforma de *Backend-as-a-Service* (BaaS) do Google, com o objetivo de simplificar o desenvolvimento de aplicações, fornecendo infraestrutura *backend* com recursos para desenvolvimento de aplicativos, sem a necessidade de configuração e manutenção de servidores e banco de dados (RIBEIRO, 2023).

Uma ferramenta importante no Firebase é o banco de dados em tempo real (*RealTime Database*) usado para sincronizar e armazenar dados dos usuários conectado a plataforma (RIBEIRO, 2023).

Quando é necessário criar uma aplicação colaborativa com a interação de muitos usuários, o banco de dados em tempo real é a melhor opção, transmitindo os dados alterados em milissegundos para os dispositivos conectados. Se algum usuário permanecer um período *off-line*, o dispositivo ao se conectar novamente pode sincronizar dados locais com as atualizações remotas (Firebase, 2025). Na Figura 20 é apresentado um diagrama de funcionamento do banco de dados em tempo real, onde um aplicativo *mobile* e um *frontend* de um computador são usados para consultar e inserir dados simultaneamente e o servidor *backend* responsável pelo gerenciamento do banco dados.

Figura 21: Firebase Banco de dados RealTime



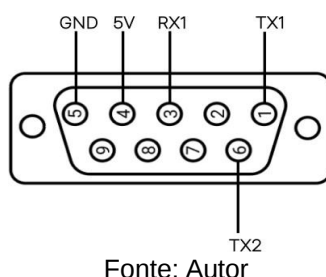
(RICHMAN, 2023)

4 RESULTADOS

4.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

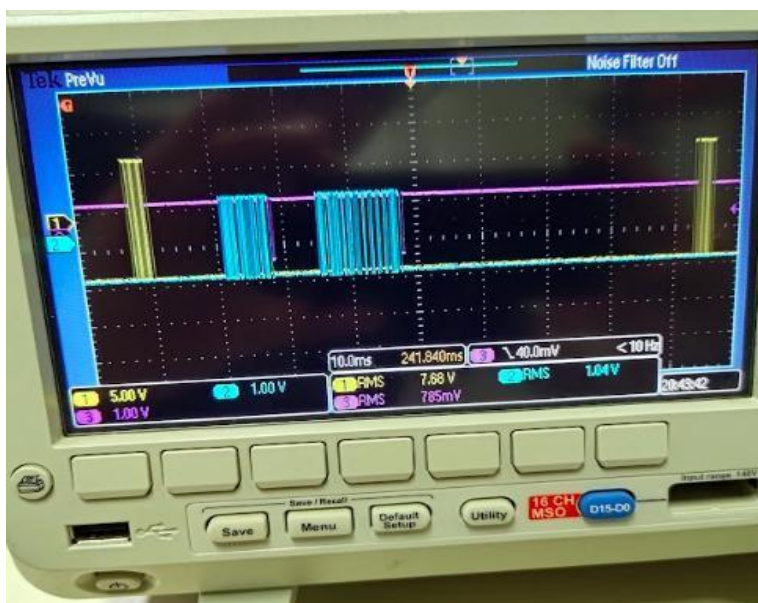
Após estudo dos sinais entre o LD-7220-2C e o controlador, pode-se confirmar a localização das linhas de transmissão e recepção de dados e alimentação no conector DB9 fêmea representado na Figura 22.

Figura 22: Diagrama de conexão de sinais



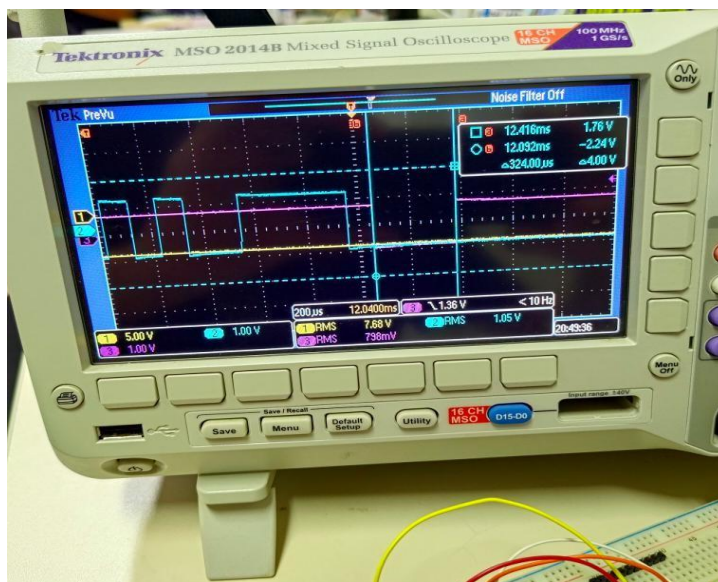
Para que a comunicação tenha êxito, o *Teach Pendant* deve enviar um pulso para o controlador no pino 6 após receber dados, na Figura 23 é observado uma captura do sinal do osciloscópio das linhas de transmissão e recepção e o pulso existente após a finalização do sinal de recepção, onde a linha de transmissão o *Teach Pendant* é o canal 1 (Amarelo), linha de recepção canal 2 (Azul), o pulso negativo no canal 3 (Rosa) .

Figura 23: Captura de troca de informações do LD-7220-2C



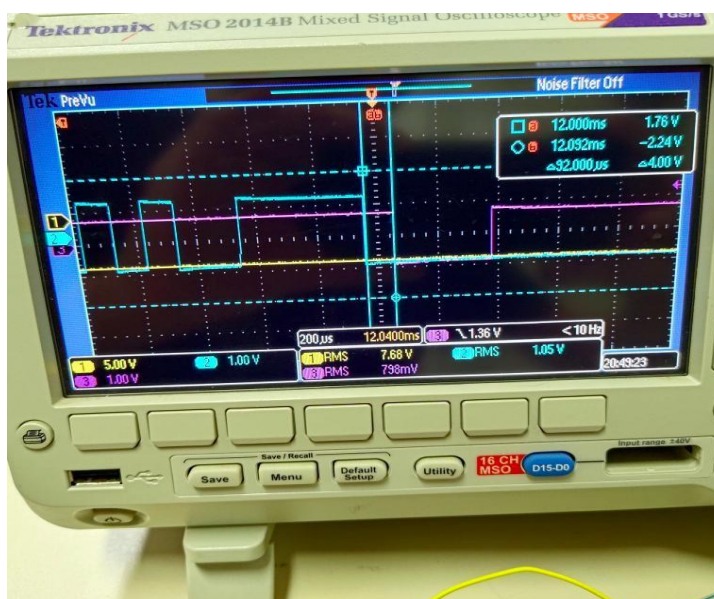
O sinal no pino 6 é apresentado com mais detalhes na Figura 24, onde a duração do pulso ocorre em 324 us em média. Outro fator detectado no testes em laboratório foi a necessidade de aguardar um período mínimo de 92 us após receber finalizar o sinal de recepção de dados para executar o pulso conforme a Figura 25.

Figura 24: Tempo de duração do pulso



Fonte: Autor

Figura 25: Período de espera entre a recepção de dados e o pulso



Fonte: Autor

Com a identificação do modo de funcionamento da comunicação, foi preciso listar as informações de enviadas no dispositivo LD-7220-2C. A transmissão de dados ocorre sempre após uma mudança de estado do botão, seja ao ser pressionado ou solto pelo usuário, o resultado da coleta de dados está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Coleta de dados comunicação serial

KEY PAD	PRESSIONADO		SOLTO	
	HEXA	ASCII	HEXA	ASCII
EDIT/REPLACE	0x30310D	1r	0x38310D	81r
ERASE/DELETE NEXTc	0x30320D	2r	0x38320D	82r
SET LABEL	0x30330D	3r	0x38330D	83r
SET OUTPUT	0x30340D	4r	0x38340D	84r
GO TO SOFT HOME	0x30350D	5r	0x38350D	85r
RELATIVE	0x30360D	6r	0x38360D	86r
DELAY	0x30370D	7r	0x38370D	87r
RUN/HALT	0x31310D	11r	0x39310D	91r
ON INP/SW GO TO	0x31320D	12r	0x39320D	92r,
GO TO LABEL	0x31330D	13r	0x39330D	93r
WAIT ON INP/SW	0x31340D	14r	0x39340D	94r
SET SOFT HOME	0x31350D	15r	0x39350D	95r
VELOCITY	0x31360D	16r	0x39360D	96r
CONFIG +/-	0x31370D	17r	0x39370D	97r
OPEN\A\6	0x32310D	21r	0x3A310D	:1r
CLOSE\A\7	0x32320D	22r	0x3A320D	:2r
AUX\8	0x32330D	23r	0x3A330D	:3r
G\9	0x32340D	24r	0x3A340D	:4r
H\0	0x32350D	25r	0x3A350D	:5r
ESCAPE	0x32360D	26r	0x3A360D	:6r
ENTER	0x32370D	27r	0x3A370D	:7r

STOP	0x34300D	40\r	0x3C300D	<0\r
X\B\1	0x34310D	41\r	0x3C310D	<1\r
Y\C\2	0x34320D	42\r	0x3C320D	<2\r
Z\D\3	0x34330D	43\r	0x3C330D	<3\r
A\E\4	0x34340D	44\r	0x3C340D	<4\r
T\F\5	0x34350D	45\r	0x3C350D	<5\r
ON\UP\YES	0x34360D	46\r	0x3C360D	<6\r
OFF\DOWN\NO	0x34370D	47\r	0x3C370D	<7\r

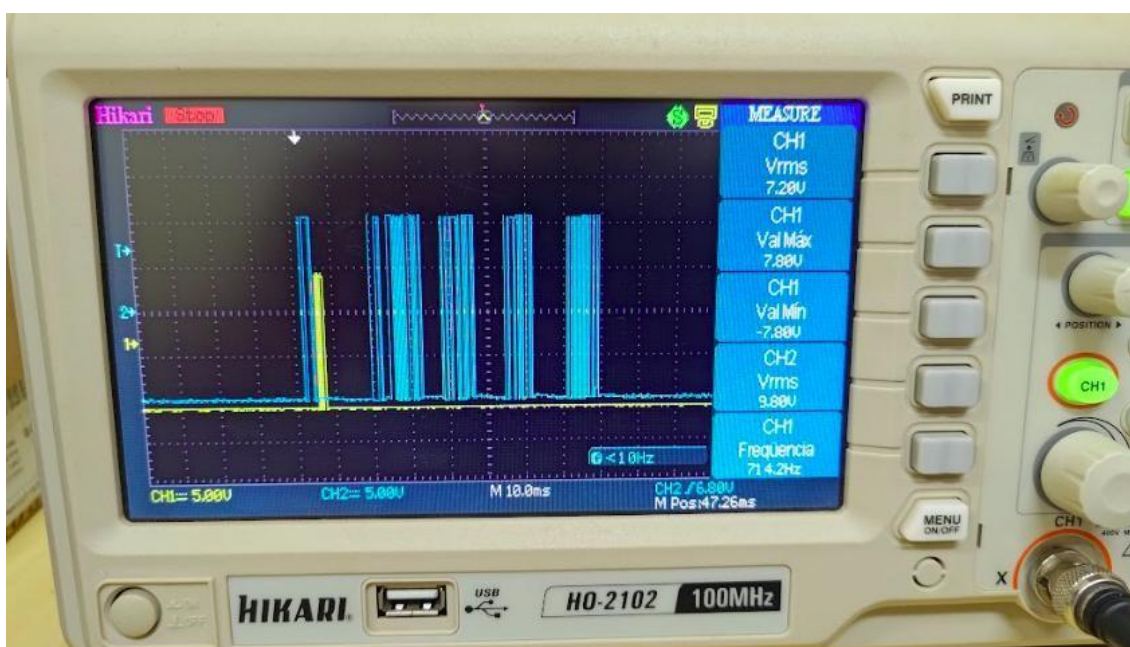
Fonte: Autor

O carácter nulo representado pelo código “\0” não está presente na transmissão e recepção de dados, dificultando a conversão direta da comunicação serial em texto legível, mas contem o retorno de carro (CR) de código “\r” no final de cada mensagem, facilitando a implementação de interrupção na UART do esp32 para enviar o sinal no pino 6 após receber dados.

4.2 Iniciação LD-7220-2C

O LD-7220-2C deve ser reconhecido pelo controlador antes de executar qualquer comando. O *Teach Pendant* deve esperar a mensagem “TT\r” do controlador e logo após enviar a “0\r”, caso a iniciação for bem-sucedida do controlador enviará algumas mensagens e a ultima deve ser “TD,PLAY”. A Figura 26 é a captura da inicialização, onde o sinal de Transmissão é o canal 1 (Amarelo) e o sinal de recepção é o canal 2 (Azul).

Figura 26: Captura da inicialização LD-7220-C



Fonte: Autor

4.3 Desenvolvimento do Teach Pendant sem fio

4.3.1 Hardware

Para reproduzir o comportamento do *Teach Pendant* é necessário um hardware que atenda os requisitos da comunicação. O esp32 é microcontrolador de 32 bits com mais de uma UART capaz de transferir e receber dados do controlador ED-MK4, além de possuir recursos sem fio como Wi-Fi para poder controlar o braço robótico de forma remota.

Para compatibilidade entre os sinais, foi necessário o uso do conversor serial MAX3232, um conversor RS-232 que pode ser alimentado com tensões de 3 V a 5,5

V. o *Teach Pendant* LD-7220-2C opera com tensão em torno de 7,20 V na linha de transmissão e 9,80 V na linha de recepção.

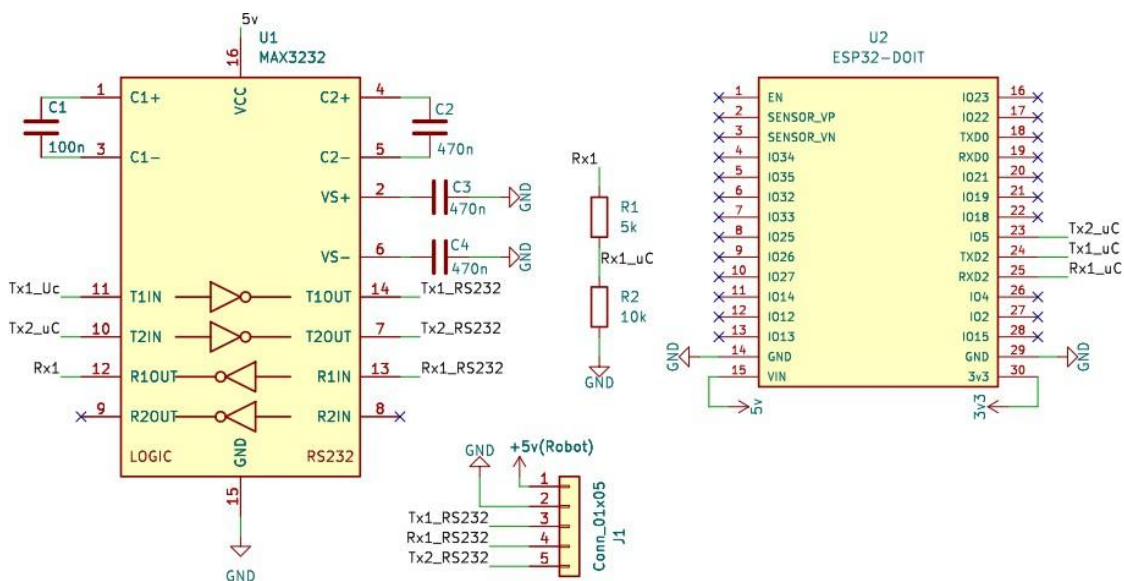
Optou-se pela alimentação em 5 V no chip MAX3232 para o sinal de tensão na comunicação seja superior a 11 V. Nos testes em bancada a tensão de alimentação 3,3 V fornece uma tensão na linha de comunicação acima de 6 V, onde obteve muitas falhas na transmissão de dados para o controlador.

Figura 27: Circuito montado na protoboard para teste



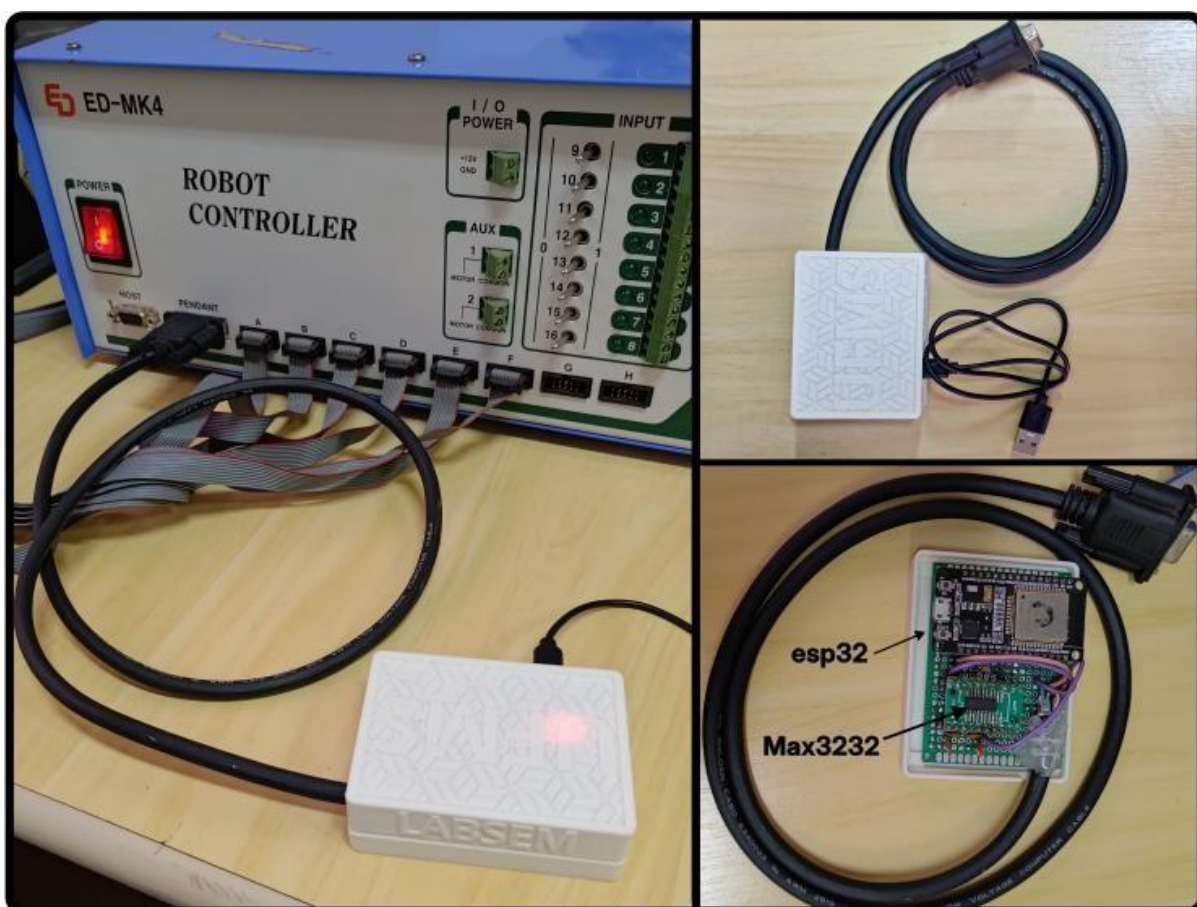
Fonte: Autor

Figura 28: Esquema de ligação do sistema embarcado



Fonte: Autor

Figura 29: Sistema embarcado para substituição do Teach Pendant



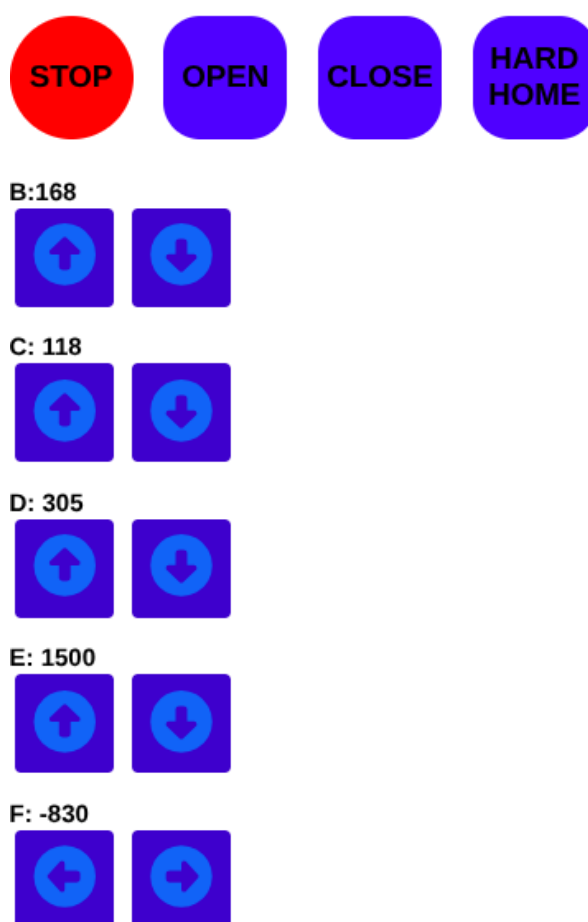
Fonte: Autor

4.3.2 Aplicação Web

A aplicação Web foi criada com o objetivo de simplificar os comandos e movimentar o robô. O *Teach Pendant* movimenta o braço robótico por meio da seleção de um motor e uma direção, o controlador responde a posição do *encoder* enquanto o movimento é executado. A interface gráfica apresenta um par de botões para cada motor, simplificando o uso de dois botões em somente um botão (motor + direção), além de mostrar o valor de cada *encoder* motor. Os botões de abrir e fechar a pinça, para segurar objetos e o botão de STOP para emergências também estão presentes na interface gráfica, a Figura 30 apresenta o resultado da interface gráfica.

Figura 30: Interface Gráfica da página Web

Controle Remoto ARM-7220-4



Fonte: Autor

A aplicação Web deve fornecer ao banco de dados em tempo real os estados dos botões e a data e hora da mudança de estado a fim de que o sistema embarcado realize o movimento do braço robótico. Além disso, o sistema embarcado deve enviar o valor de cada *encoder* B, C, D, E e F ao banco de dados para ser exibido na aplicação Web, de acordo com a Figura 31.

Figura 31: Banco de dados em tempo real



Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos após o desenvolvimento do *retrofit* foram satisfatórios, pois pôde-se entender o funcionamento do *Teach Pendant* LD-7220-2C, com o comportamento de enviar dados após mudança no estado de qualquer botão, além de conseguir coletar as informações transmitidas e recebidas do controlador ED-MK4, pode construir um controle personalizado.

Em relação ao sistema embarcado desenvolvido, conclui-se que este atingiu o objetivo de substituir fisicamente o controle LD-7220-2C. Para tanto, ele se utiliza somente de um microcontrolador com acesso à internet e de um circuito integrado, convertendo o protocolo RS232 em um sinal TTL de 5V.

A aplicação WEB para o usuário utilizar o *Teach Pendant* de maneira remota apresentou resultados positivos, pois se comunica com o sistema embarcado por meio de um banco de dados em tempo real (Data Base Real Time), fornecendo uma interface mais simplificada ao usuário para poder movimentar o braço robótico.

6 REFERÊNCIAS

ED Corporation. ARM ROBOT TRAINER Instruction Manual ED-7220C. [s.l.], [s.d]. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/2-1-ed-7220c-manual-english-pdf-free.html>. Acessado em: 20 de out. de 2025.

SAHA, Subir Kumar. Introduction to Robotics. 2. ed. India: McGraw Hill Education, 2014.

SICILIANO, Bruno; SCIAVICCO, Lorenzo; VILLANI, Luigi; ORIOLO, Giuseppe. Robotics Modelling, Planning and Control. 1. ed. Itália: Springer, 2009.

Robots Done Right. What are Robotic Teach Pendants?. [s.l.], [s.d]. Disponível em: <https://robotsdoneright.com/Articles/what-are-robotic-teach-pendants.html?srltid=AfmBOooylOQQWmrrllHj2bVq-ucMceue0lhro6iiTRJoDKEP10mvHg3H>. Acessado em: 28 de out. 2025.

RIBEIRO, Andre Louis S. O que é Firebase? Para que serve, principais característica e um Guia dessa ferramenta Google. Alura, 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/firebase>. Acesso em: 15 de out. de 2025.

Firebase. Firebase Realtime Database. [s.l], 2025. Disponível em: <https://firebase.google.com/docs/database?hl=pt-br>. Acesso em: 16 de out. de 2025.

AWS. O que é uma aplicação Web?. [s.l.], [s.d]. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/web-application>. Acesso em: 16 de out. de 2025.

RICHMAN, Jeffrey. Firestore vs. Realtime Database: Which Performs Better?. [s.l], 2023. Disponível em: <https://estuary.dev/blog/firestore-vs-realtime-database/>. Acesso em: 16 de out. de 2025.

Intelitek Inc. Scrobot-ER V plus: User's Manual. Catalog #100343 Rev.B. Intelitek, 2001. Disponível em: https://www.theoldrobots.com/book45/ER4u_User_Manual.pdf. Acesso em: 5 de out. de 2025.

FANUC CORPORATION. Robot R-2000iB series. Japão: FANUC, 2006. Disponível em: [https://www.fanuc.com/fth/th/product/catalog/R-2000iB\(E\)_v08.pdf](https://www.fanuc.com/fth/th/product/catalog/R-2000iB(E)_v08.pdf). Acesso em: 8 de out. de 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8373:2021(en) Robotics — Vocabulary. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en>. Acesso em: 05 de nov. de 2025.

ALMEIDA, Rodrigo M. A.; MORAES, Carlos Henrique V.; SERAPHIM, Thatyana F. P. PROGRAMAÇÃO DE SISTEMAS EMBARCADOS: Desenvolvendo software para microcontroladores em linguagem C. 1. e.d. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2016.

PEÑA, Eric; LEGASPI, M. UART: A Hardware Communication Protocol Understanding Universal Asynchronous Receiver/Transmitter. [s.l.], [s.d]. Disponível em: <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html>. Acesso em: 14 de nov. de 2025.

ANALOG DEVICES. Fundamentals of RS-232 Serial Communications. [s.l.], 2001. Disponível em: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/fundamentals-of-rs232-serial-communications.html>[s.l.], [s.d][s.l.], [s.d]. Acesso em: 14 de nov. de 2025.

Texas Instruments. Interface Circuits for TIA/EIA-232-F. [s.l.], 2002. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/slla037a/slla037a.pdf?ts=1764259626781>. Acesso em: 08 de nov. de 2025.

Texas Instruments. MAX3232 3-V to 5.5-V Multichannel RS-232 Line Driver and Receiver With ± 15 -kV ESD Protection. [s.l.], [s.d]. Disponível em: <https://www.ti.com/document-viewer/max3232/datasheet>. Acesso em: 08 de nov. de 2025.