

# CONTROLE DE MESA SEPARADORA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR E COMUNICAÇÃO SERIAL SEM FIO: APLICAÇÃO DIDÁTICA

## CONTROL OF A SORTING TABLE USING A MICROCONTROLLER AND WIRELESS SERIAL COMMUNICATION: EDUCATIONAL APPLICATION

Fernando Jorge Luchesi <sup>1</sup>

### RESUMO

Desde o início da industrialização aplica-se o processo de melhoria na cadeia produtiva, e na indústria moderna, necessita-se de controle dinâmico com resultados precisos. E com a realidade atual, onde os processos automáticos e robotizados estão presentes nas grandes indústrias e nas fábricas com processos menos amplia-se a necessidade de tais controles e ainda com aplicações que possibilitem um investimento menor. Os conceitos de alta produtividade, supervisão instantânea, velocidade de processo bem como análise e implementação de processos cada vez mais seguros, são os preceitos de Indústria 4.0. Neste cenário, existem múltiplas possibilidades de implementar tais conceitos com formatos variados, este artigo é um estudo de variação de aplicação de uma mesa didática separadora de peças, automatizada por microcontrolador trocando informações sem fio, serial, com outros dispositivos.

**Palavras-chave:** Esteira separadora; Microcontrolador, Comunicação sem fio, Serial.

### ABSTRACT

Since the beginning of industrialization, the process of improvement has been applied to the production chain. In modern industry, dynamic control with precise results is required. And with the current reality, where automatic and robotic processes are present in large industries and in factories with less processes, the need for such controls increases, as well as applications that allow for a smaller investment. The concepts of high productivity, instant supervision, process speed, as well as analysis and implementation of increasingly safer processes, are the precepts of Industry 4.0. In this scenario, there are multiple possibilities for implementing such concepts with varied formats. This article is a study of the application variation of a teaching table for separating parts, automated by a microcontroller exchanging information wirelessly, serially, with other devices.

**Keywords:** Separator belt; Microcontroller, Wireless communication, Serial.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Problema de pesquisa

A planta didática separadora consiste numa planta automatizada controlada por um microcontrolador que, através de um protocolo de comunicação estabelece conexão entre os terminais de controle e pedidos e os dispositivos do processo.

Neste contexto, o dispositivo controlador é um Arduino MEGA 2560 que recebe dados dos sensores da planta, processa e determina quais ações dever ser tomadas para a devida separação das peças que estão divididas entre pequenas, médias e grandes.

## 1.2 Objetivo(s)

Este artigo é um estudo da possibilidade de aplicação de um sistema de controle que condicione as implementações de automatização através de um microcontrolador de uso e domínio comum ao perfil didático de alunos aprendizes da eletroeletrônica.

Assim, necessita-se de um estudo a respeito do protocolo de comunicação serial utilizado e como se aplica este à uma comunicação sem fio ponto-a-ponto.

A arquitetura da comunicação é aplicada sobre a tecnologia de comunicação sem fio ponto-a-ponto em protocolos e frequências padrão.

## 1.3 Justificativa

Com este estudo e sua viabilização prática, torna-se possível aplicar os controles da planta em mais larga escala utilizando a estrutura já presente nos laboratórios e oficinas de estudo da automação industrial.

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 Microcontrolador Arduino

Segundo a IBM, um microcontrolador (MCU) é:

"Essencialmente um pequeno computador em um único chip. Ele foi projetado para gerenciar tarefas específicas em um sistema incorporado sem a necessidade de um sistema operacional complexo."

Para Roberts (2011, p. 22) o Arduino é como um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele.

A placa de desenvolvimento do Arduino é composta de um microcontrolador Atmel AVR ou um Atmega802 com um cristal oscilador que conduz a comunicação USB programado como um conversor USB para serial.

Para Stevan Junior:

Essa plataforma é baseada em microcontroladores que são unidades de processamento com diversos periféricos internos ao mesmo circuito integrado, que possibilitam que esse dispositivo possa interagir com o ambiente e ter o controle sobre atuadores no mesmo, por

possuir internamente, além de uma unidade central de processamento, periféricos como memórias (tanto de dados quanto de programa), comunicação serial, conversores analógicos-digitais, dispositivos PWM, comparadores, entre outros.

Um Arduino controla os periféricos de entradas e saídas digitais e analógicas em pinagem e quantidade de acordo com cada modelo de placa, regulados por circuito embarcado e designado para manter os níveis de tensão elétrica suficientes para a interpretação dos valores lógicos do microcontrolador.

Na página oficial do Arduino é descrito como:

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas – luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem do Twitter – e transformá-las em uma saída – acionando um motor, acendendo um LED, publicando algo online.

## **2.2 Comunicação Serial RS-232 (padrão EIA-232)**

Uma comunicação serial é um método de transmissão de dados em que os bits são enviados sequencialmente, um após o outro, através de um único canal de comunicação simplificando a conexão bem como o cabeamento, especialmente em transmissões de longa distância.

Conforme descrito no material didático do Laboratório Digital da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo:

"Uma comunicação é chamada de serial quando o envio dos códigos dos caracteres se processa sobre uma única linha, onde os bits enviados são encadeados um por vez, e numa fila."

A partir desta definição o material também define o padrão EIA-232 como:

As normas EIA (*Electronic Industries Alliance*) são adotadas pelos fabricantes de equipamentos para eliminar possíveis discrepâncias na interligação dos mesmos, e auxiliar o usuário na escolha e instalação dos equipamentos. Em particular, a norma EIA-RS-232C2 tem por objetivo padronizar um método de interconexão entre terminais e canais de comunicação de dados, quando os mesmos são fornecidos por fabricantes distintos. Ela define um modo de troca de sinais de controle (protocolo) e de sinais de dados serializados entre o terminal e o canal de comunicação de dados.

Esse tipo de comunicação é amplamente utilizado em sistemas embarcados, como os baseados em microcontroladores Arduino, para estabelecer conexões entre dispositivos periféricos, sensores e módulos de comunicação, como o HC-12, transmissor serial sem fio utilizado neste estudo.

## **2.3 Transmissor de dados sem fio**

Um transmissor sem fio é um dispositivo eletroeletrônico que envia informações por meio de ondas de propagação eletromagnéticas, como rádio ou infravermelho, eliminando a necessidade de conexões físicas por cabos. Esses transmissores convertem sinais elétricos em sinais de rádio, permitindo a comunicação entre

dispositivos em diversas aplicações, desde redes de computadores até sistemas de automação industrial.

STALLINGS (2000) destaca que os meios sem fio são essenciais para a comunicação de dados em ambientes onde o uso de cabos é impraticável ou indesejável, como em redes móveis, sistemas de sensores e aplicações de Internet das Coisas (IoT). Ele também discute as características dos diferentes tipos de meios sem fio, incluindo suas faixas de frequência, taxas de transmissão e suscetibilidade a interferências.

## **2.4 Arduino SHIELDS**

São placas de circuito impresso (PCIs) que se encaixam diretamente sobre uma placa Arduino (Uno, Mega ou outras) para expandir suas funcionalidades de forma modular e prática. Esses Shields permitem interfaces adicionais ou recursos específicos sem a necessidade de reconfigurar a placa base, facilitando o desenvolvimento de projetos.

Esses periféricos que são placas de circuito impresso que utiliza a padronização geométrica e de pinos para alimentar e se comunicar com os periféricos adicionados, aumentando as funcionalidades disponíveis [Stevan Junior, 2015].

Ainda segundo BANZI e SHILOH (2015) os Shields são placas que se encaixam diretamente sobre a placa Arduino para expandir suas funcionalidades. Eles afirmam que os Shields são projetados para fornecer funcionalidades específicas, como controle de motores, conectividade com a Internet ou interfaces de usuário, e que podem ser empilhados para combinar múltiplas funcionalidades em um único projeto.

### **2.4.1 SHIELD de Relé**

Possibilita o controle de 4 relés, porém são várias as possibilidades no comércio, desde placas de expansão com apenas 1 relé, quanto placas com controle de até 8 relés, que se encontram facilmente [Stevan Junior, 2015].

### **2.4.2 SHIELD de Comunicação Serial Sem Fio – HC-12**

De acordo com o manual do fabricante, o módulo de comunicação serial sem fio HC-12 é um módulo de transmissão de dados sem fio multicanal embarcado de nova geração. Sua banda de frequência de trabalho sem fio é de 433,4 a 473,0MHz, com múltiplos canais configuráveis, com banda de 400 KHz, e possui um total de 100 canais. A potência máxima de transmissão do módulo é de 100mW (20dBm), a sensibilidade de recepção é de -117dBm a uma taxa de transmissão de 5Kbps no ar, e a distância de comunicação é de 1000m em espaço aberto.

### **2.4.3 SHIELD de Acoplador Óptico PC817**

O módulo isolador PC817 com 8 Canais é uma placa eletrônica que utiliza optoacopladores PC817 de 4 pinos cada, para proporcionar isolamento elétrico entre circuitos de entrada e saída. Esse isolamento é fundamental para proteger o microcontrolador e outros componentes da placa de desenvolvimento que são sensíveis às interferências eletromagnéticas, possíveis surtos de tensão e a diferença de potencial entre as partes dos sistemas.

Conforme descrito na folha de dados do componente a série PC817X contém um emissor infravermelho acoplado opticamente a um fototransistor. Ele é encapsulado

em um DIP (Dual In-line Package) de 4 pinos, disponível na opção de espaçamento amplo dos condutores e na opção de forma de condutor SMT (Surface Montage Technologie) tipo asa de gaivota.

#### **2.4.4 SHIELD de expansão terminal**

A Shield de expansão terminal ou Proto Shield é uma placa de expansão que permite o desenvolvimento em placa universal o uso de pequena matriz de contatos [Stevan Junior, 2015].

Pode possuir adicionais de possibilidades de conexão, facilitando a integração da placa de desenvolvimento do Arduino com outras placas ou partes de sistema em que ele será implantado através de bornes terminais, um exemplo é uma conexão com bornes do tipo KRE que estabelecem conexões seguras e organizadas entre fios e cabos nos circuitos do sistema onde os fios são fixados à placa por parafusos internos ao borne.

#### **2.4.5 SHIELD Display LCD**

A Shield de display LCD 16x2 é a interface entre o processo e o operador da mesa, que transfere para um display de 2 linhas e 16 colunas as informações de caracteres estipulados no programa do microcontrolador com o objetivo de informar uma parte ou condição do processo em execução.

BANZI (2015) aborda o uso dos displays LCD e destaca a importância de sua aplicação com uso das bibliotecas que devem ser adicionadas ao programa. Desta forma facilita a geração da matriz de comunicação dos dados do controlador Arduino com controlador da shield.

### **2.5 Planta Didática**

Uma planta didática é uma ferramenta educacional projetada para simular processos industriais em pequena escala, permitindo que estudantes de cursos técnicos e de engenharia experimentem, na prática, conceitos teóricos relacionados à automação, instrumentação e controle de processos. Essas plantas são compostas por componentes reais, como sensores, atuadores, controladores e interfaces homem-máquina, proporcionando uma experiência de aprendizado próxima à realidade industrial.

Segundo Silva et al. (2011), a Planta Didática Industrial é um método de aproximar o aluno ao máximo da realidade das empresas, pois tem como objetivo demonstrar a operação de suas diversas malhas de controle usando os mesmos equipamentos e ferramentas de automação industrial.

Além disso, Vieira (2015) destaca que, além do aspecto educacional, as plantas didáticas podem ser utilizadas para o estudo de diversos processos industriais em pequena escala, como a produção de vapor por meio de uma pequena caldeira elétrica acoplada a um módulo didático.

## 2.6 Sensor de proximidade

Sensores de proximidade são dispositivos eletroeletrônicos capazes de detectar a presença ou ausência de objetos próximos sem a necessidade de contato físico. De acordo com ROGGIA (2016):

O sensor é um elemento sensível a uma forma de energia do ambiente (energia cinética, sonora, térmica, entre outras), que relaciona informações sobre uma grandeza que precisa ser medida como temperatura, pressão, vazão, posição e corrente.

Os sensores são apresentados como componentes fundamentais em sistemas eletrônicos, especialmente na conversão de sinais físicos em sinais elétricos processáveis Malvino (2016).

### 2.6.1 Sensor Infravermelho

Esses sensores manipulam a luz para detectar a presença de um material acionador. Os sensores possuem um emissor e um receptor de luz infravermelha, invisível ao olho humano. O emissor envia um feixe de luz através de um diodo emissor de luz e o receptor, composto por um fotodiodo ou foto transístor, é capaz de detectar o feixe emitido ROGGIA (2016)  
Ainda segundo ROGGIA:

“No sensor óptico de barreira direta o emissor e o receptor estão montados em unidades distintas, e devem ser dispostos, frente a frente, de forma que o receptor sempre receba a luz do emissor. A saída é acionada quando um objeto interrompe o feixe de luz.”

### 2.6.2 Sensor Capacitivo

A TECNIAR explica que sensor capacitivo opera de forma similar ao capacitor. No entanto, a capacitância do sensor é variável de acordo com a distância entre a superfície de leitura do sensor e o material a ser detectado. Também podem ocorrer mudanças na capacitância do sensor pela captação de material condutivo ou dielétrico. A alteração da capacitância, por fim, representa uma variação no sinal elétrico emitido pelo dispositivo.

## 2.7 Atuadores

Os atuadores são dispositivos que convertem alguns tipos de energia, seja ela elétrica, pneumática, hidráulica, térmica, entre outras em movimento mecânico, permitindo que, quando acionados executem ações físicas em sistemas automatizados industriais. Esses dispositivos recebem os comandos através dos relés conectados aos microcontroladores e realizam tarefas como mover, girar, empurrar ou controlar elementos de um processo industrial.

PAZOS (2002) abordada os atuadores como componentes essenciais em sistemas automatizados, responsáveis por executar ações físicas a partir de comandos de controle.

### 2.7.1 Válvula Eletropneumática

Uma válvula eletropneumática é um componente atuador que combina energia elétrica e pneumática. Ela atua como um dispositivo de controle que, ao receber um sinal elétrico, geralmente por meio de um relé, altera o estado de uma válvula pneumática, direcionando o fluxo de ar comprimido para acionar atuadores, como cilindros ou motores pneumáticos.

Segundo BONCACORSO (1997), as válvulas eletropneumáticas são definidas como:

"Componentes do sistema eletropneumático automatizado que recebem comandos do circuito elétrico de controle, acionando com isso, os elementos de trabalho pneumáticos."

Essas válvulas podem ser classificadas de acordo com o número de vias e posições, como 3/2, 4/2, 5/2, entre outras, e podem possuir acionamento unidirecional ou bidirecional, dependendo da aplicação específica.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Processo de separação da planta

A planta, apresentada na Figura 01, representa um processo de separação de peças que verifica o tamanho destas e as separa em espaços diferentes na sequência entre pequenas, médias e grandes. As peças que por algum motivo de critério não correspondam à valores verdadeiros da lógica não serão manipuladas pelas válvulas de controle e serão descartadas.

O controle da planta é feito por um microcontrolador Arduino Mega 2560 embarcado numa placa de desenvolvimento representado na figura 02, que em suas entradas e saídas digitais realiza as leituras dos sensores de proximidade infravermelhos figura 03, posicionados em alturas diferentes e determina as ações das saídas que controlam os atuadores, sendo estes, válvulas eletropneumáticas - figura 04.

Foram definidas, ainda, lógicas de solicitações, onde um pedido proveniente de outra implementação microcontrolada será manipulada pela planta permitindo uma seleção remota.

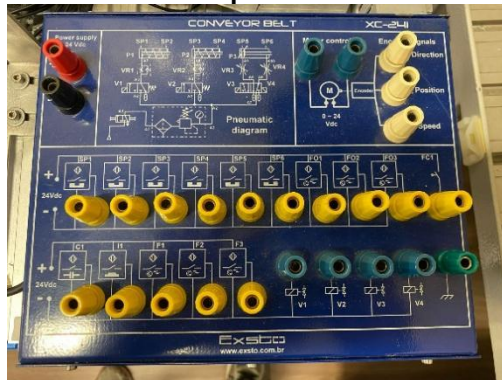
Figura 01 – Planta didática separadora de peças



Fonte: elaborado pelo autor



**Figura 05 – Painel esquemático da mesa**



Fonte: elaborado pelo autor

**Figura 06 – Placa de expansão Arduino MEGA**

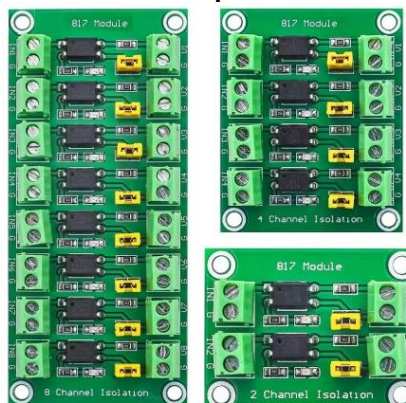


Fonte: eletrogate.com

### 3.2.1 Adaptação dos sinais dos sensores para o Arduino

Os sinais utilizados pelos módulos Arduino têm como tensão padrão 0 – 5V, já os valores típicos das máquinas e sistemas de automação industrial e como no caso dos sensores presentes na mesa, trabalham com tensão típica de 0 – 24V. Neste caso há a necessidade de adaptação do valores de tensão já que as fontes de energia de cada sistema utiliza seu próprio padrão. O Shield PC817 mostrado na figura 07 permite a isolamento das diferentes tensões que fazem parte do sistema permitindo que exista uma correlação de função mesmo que isoladas eletricamente pelo optoacoplador

**Figura 07 – Placa de expansão Arduino MEGA**



Fonte: amazon.com

### 3.2.2 Adaptação das saídas do Arduino para os atuadores

Os sinais elétricos provenientes do Arduino fornecem de 0 a 5Vdc nas condições lógicas de atuação sendo valores próximos de 0 volts considerados estado falso e valores próximos de 5V considerados verdadeiros na lógica de atuação.

As válvulas são acionadas com valores padrão dos sistemas de automação predial compreendem em 0 e 24Vdc sendo 0 estado falso e 24V estado verdadeiro.

Tanto para o Arduino quanto para as válvulas o estado lógico verdadeiro caracteriza saída acionada e válvula ligada. Considerando esta condição a Shield de relés da figura 08 executa a combinação entre os diferentes valores de tensão e o nível do estado lógico, acionado ou não acionado.

Figura 08 – Shield de relés



Fonte: ardurobotica.com.br

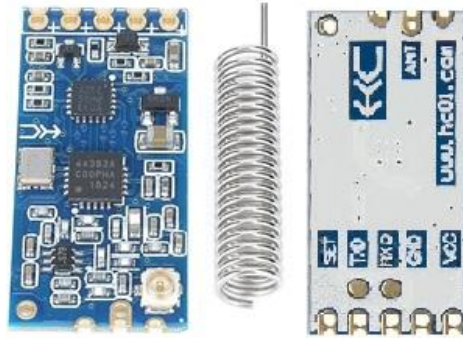
Nesta implementação utilizamos cinco relés. Dois deles acionam as duas eletroválvulas pneumáticas que retornam por mola, outros dois acionam as eletroválvulas do sistema de dupla ação que necessita acionamento para avanço e retorno do cilindro. Há ainda um outro relé que liga a desliga o motor elétrico da esteira sendo este com nas mesmas necessidades de combinação dos valores elétricos entre Arduino e dispositivo.

### 3.3 Implementação do módulo de comunicação serial sem fio

A comunicação da mesa separadora com qualquer interação externa a ela é realizada via comunicação serial por protocolo RS-232 que foi um protocolo inicialmente desenvolvido para meio de comunicação por condutores metálicos, sendo estes cabos de transmissão de dados.

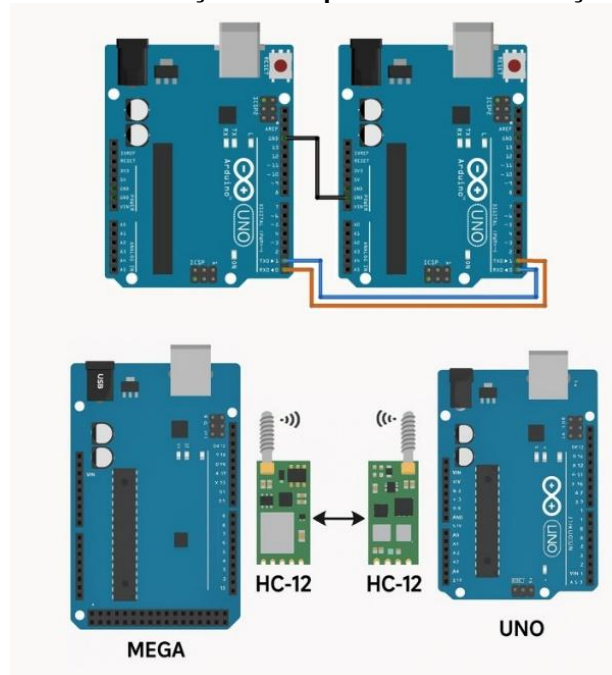
O módulo Shield HC-12 mostrado na figura 09, permite adaptar as transições e valores elétricos do sistema RS-232 em sinal que se propaga através de meio sem fio numa frequência de transmissão segura e encasulada num protocolo de comunicação por meio de um sinal portador codificado de 433MHz. A figura 10 mostra a comunicação que seria realizada através de condutores de dados sendo substituída por meio sem fio.

Figura 09 – Módulo HC-12



Fonte: amazon.com

Figura 10 – Comunicação serial padrão x Comunicação sem fio



Fonte: elaborada pelo autor

### 3.4 Implementação do display LCD

O display LCD é muito importante nesta aplicação por permite determinar para o operador da mesa em qual ou quais são as decisões que estão acontecendo na mesa durante sua operação. No programa ele informa o status do processo considerando a detecção da peça e informa que tipo de peça foi solicitada, esta proveniente do outro Arduino. A figura 11 e 12 mostra uma shield display 16x2 com comunicação i2C que permite diminuir a matriz de comunicação o barramento serial do controlador.

Figura 11 – Shield display LDC 16x8 e placa i2C



Fonte: curtocircuito.com.br

### 3.5 Programação do Arduino MEGA da planta

Na estrutura do programa deve ser incluída a biblioteca serial para comunicação entre o Arduino e o Computador e iniciado o Software Serial do módulo HC-12 conforme detalhe na figura 12, que não possui biblioteca e pode ter seu hardware configurado pelo próprio programa. Nesta aplicação não foram necessárias alterações do hardware do dispositivo, pois o ambiente de laboratório é pequeno e a transmissão não sofre interferências.

Figura 12 – Biblioteca, variáveis e inclusão do HC-12

```
#include <SoftwareSerial.h>

const int sensor_1 = 8; //baixo
const int sensor_2 = 9; //medio
const int sensor_3 = 10; //alto
const int esteira = 7;
const int valvula1 = 6;
const int valvula2 = 5;
const int valvula3A = 4;
const int valvula3R = 3;

SoftwareSerial hc12(2, 13); // RX, TX
```

Fonte: elaborada pelo autor

Uma String chamada de “tiposolicitado” foi criada para receber e armazenar o tipo de peça que ele recebe do outro dispositivo que está comunicando, conforme a figura 13:

Figura 13 – String de armazenamento de solicitações

```
String tiposolicitado = "";
```

Fonte: elaborada pelo autor

No loop de programa o tratamento da peça solicitada da figura 14 considera as informações recebidas pela serial HC-12 e compara com o tipo de peça que passa pela esteira decidindo se a peça será considerada como válida para o pedido ou será descartada.

**Figura 14 – Comparação entre o pedido e o tipo de peça**

```

76 // Tratamento de peça detectada
77 if (valorsensor == 1) {
78     if (tipoSolicitado == "BAIXA") {
79         hc12.println("Peca BAIXA detectada e corresponde a solicitacao. Acionando valvula 1.");
80         digitalWrite(valvula1, HIGH);
81         delay(5000);
82         digitalWrite(valvula1, LOW);
83         tipoSolicitado = "";
84     } else {
85         hc12.println("Peca BAIXA detectada mas NAO corresponde a solicitacao. Descartada.");
86     }
87     valorsensor = 0;
88 }

```

Fonte: elaborada pelo autor

O recebimento de comandos recebidos do outro Arduino é considerado em cada loop do processo conforme a figura 15:

**Figura 15 – Comandos recebidos do outro Arduino**

```

120 // Recebe comandos do receptor
121 if (hc12.available()) {
122     String comando = hc12.readStringUntil('\n');
123     comando.trim();

```

Fonte: elaborada pelo autor

### 3.6 Programação do Arduino UNO do aluno

No programa do Arduino UNO mostrado na figura 16, as considerações da inicialização da serial também devem ser implementadas e, foram acrescentadas algumas informações que são mostradas na interface de monitor serial da IDE, haja vista será neste momento que o aluno saberá se pode enviar uma solicitação através da comunicação serial com um pedido de peça bem como receberá uma confirmação do recebimento por parte do Arduino da planta.

**Figura 16 – Programa Arduino UNO**

```

6  #include <SoftwareSerial.h>
7
8  SoftwareSerial hc12(2, 3); // RX, TX
9
10 void setup() {
11     Serial.begin(9600); // Comunicação com o computador
12     hc12.begin(9600); // Comunicação com o HC-12
13     Serial.println("Receptor HC-12 pronto.");
14     Serial.println("Digite: solicitar BAIXA, MEDIA ou ALTA");
15 }
16
17 void loop() {
18     // Recebe mensagens do transmissor
19     if (hc12.available()) {
20         String mensagem = hc12.readStringUntil('\n');
21         Serial.print("Recebido: ");
22         Serial.println(mensagem);
23     }
24
25     // Envia comandos para o transmissor
26     if (Serial.available()) {
27         String comando = Serial.readStringUntil('\n');
28         comando.trim();
29
30         if (comando.startsWith("solicitar")) {
31             hc12.println(comando);
32             Serial.print("Comando enviado: ");
33             Serial.println(comando);
34         } else {
35             Serial.println("Comando invalido. Use: solicitar BAIXA, MEDIA ou ALTA");
36         }
37     }
38 }
39

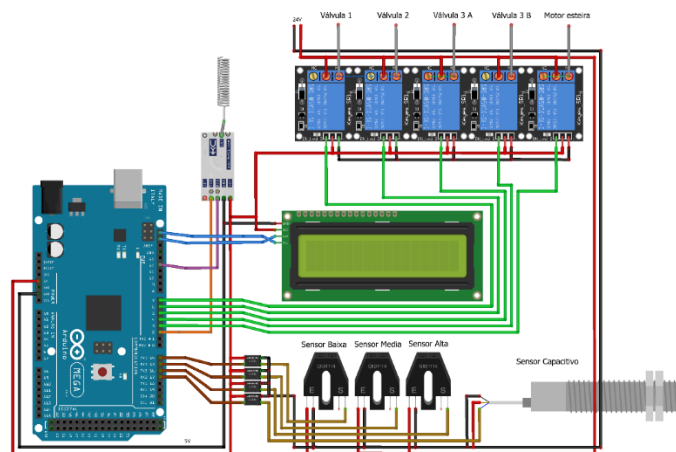
```

Fonte: elaborada pelo autor

### 3.7 Controle dos processos

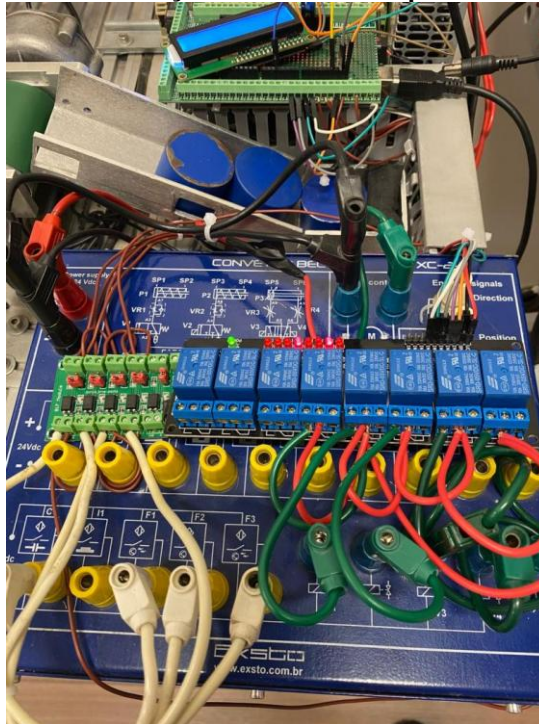
A figura 17 explica a interconexão dos componentes adicionados ao sistema completo e a figura 18 detalha as posições de aplicação dos componentes na mesa, trata-se da disposição física para a adaptação.

**Figura 17 – Interconexão dos componentes**



Fonte: elaborada pelo autor

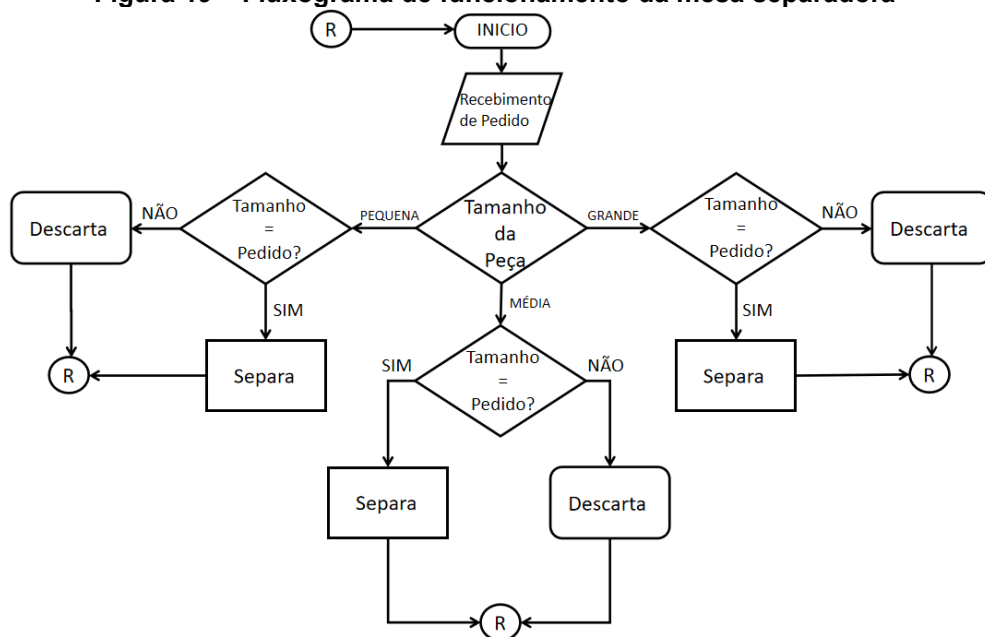
Figura 18 – Distribuição física dos componentes na mesa



Fonte: elaborada pelo autor

A figura 19 representa o fluxograma de processo das decisões e lógicas que acontecem no Arduino que controla a mesa separadora. O processo de reconhecimento das peças é comparado com o pedido que foi solicitado. Este pedido chega ao microcontrolador através da serial via HC-12 e se a peça reconhecida entre pequena, média ou grande for coincidente com a solicitação o sistema separa. Para os casos em que a solicitação e o reconhecimento não forem iguais o sistema descarta.

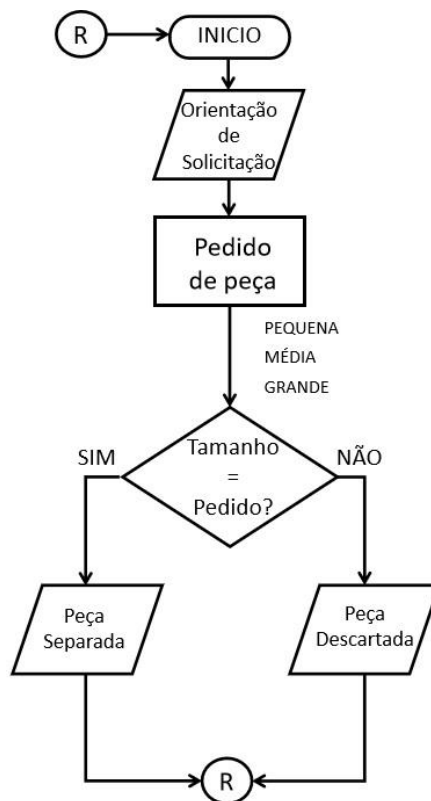
Figura 19 – Fluxograma de funcionamento da mesa separadora



Fonte: elaborada pelo autor

O fluxograma de processo do microcontrolador que solicita é mais simples, ele descreve para o aluno no monitor serial da IDE do Arduino que, solicita um tamanho e através da serial via HC-12 envia para o sistema da mesa separadora e podendo receber informação de retorno da informação do reconhecimento da peça, ou seja, se foi separada ou não, conforme o fluxograma representado na figura 20.

**Figura 20 – Fluxograma do Arduino solicitante**

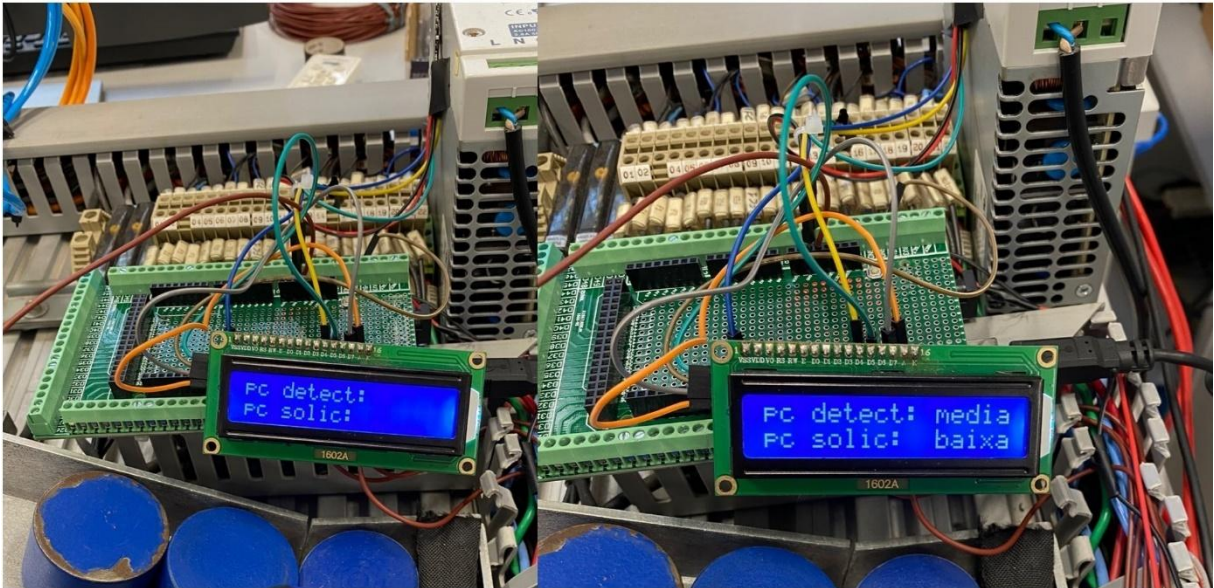


Fonte: elaborada pelo autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O recebimento das solicitações e o tipo de peça detectada são processados pelo sistema (microcontrolador), para melhor entendimento e compreensão do que está ocorrendo no processo, do ponto de vista dos operadores (professor e alunos) foi adicionado um display LCD que informa tanto a detecção quanto a solicitação, haja vista que apenas pelo monitor serial não ficou prático, pois o computador do professor deveria estar sempre conectado ao Arduino da mesa para que se pudesse saber o status do processo, na figura 21 aparecem o início do processo e um exemplo de leitura de peça e de solicitação, para este caso mudei o nome representativo das peças para baixa, média e alta, afim de ficar mais compreensível a interpretação, pois são palavras menores e desta forma a quantidade de caracteres disponíveis no display 16x2 foi suficiente sem a necessidade de scrol (rolar letras pelo display) ou adquirir um modelo maior.

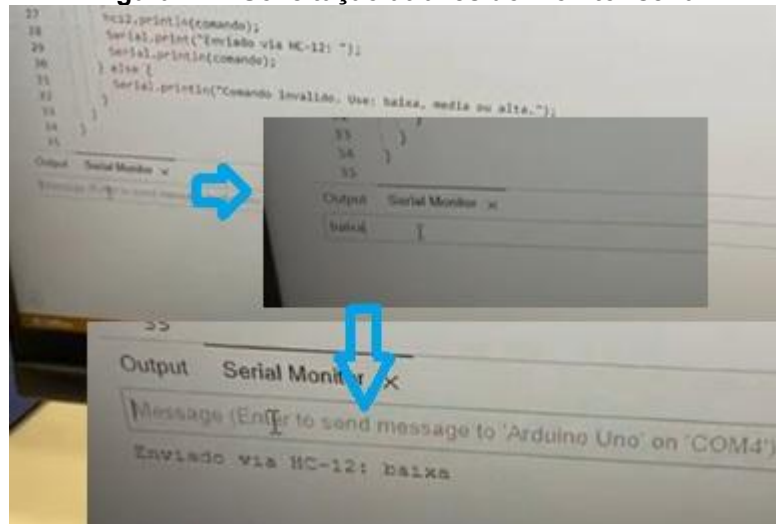
**Figura 21 – Display indicando o tipo de peça detectada e o tipo solicitada**



Fonte: elaborada pelo autor

No Arduino solicitante a interface acontece por meio do monitor serial da IDE, pois o aluno programará seu microcontrolador e com uso dinâmico de monitoramento. Assim basta ele solicitar através do próprio computador de acordo com a orientação de valor da peça que deseja, sendo baixa, média ou alta. A figura 22 resume o processo de solicitação.

**Figura 22 – Solicitação através do monitor serial**



Fonte: elaborada pelo autor

Não foram detectados problemas ou falhas na comunicação entre os módulos HC-12, vários testes foram realizados e em todos os lados da sala de aula, o HC-12 tem grande alcance (por volta de 1000m em campo aberto) segundo manual do fabricante. O interfaceamento entre os módulos e os microcontroladores é bastante simples, bastando conectar os terminais de RX e TX do módulo ao Arduino e declarar na programação quais pinos foram escolhidos como no exemplo da figura 23 onde foram utilizados os pinos 2 como RX e 3 como TX, mas por se tratar de uma comunicação serial deve-se conectar o pino declarado como RX do microcontrolador ao TX do módulo HC-12 e TX com RX em complemento.

**Figura 23 – Pinos utilizados no Arduino**

```

6  #include <SoftwareSerial.h>
7
8  SoftwareSerial hc12(2, 3); // RX, TX
9

```

Fonte: elaborada pelo autor

## 5 CONCLUSÃO

A Implementação de um microcontrolador em uma mesa didática já pronta para receber sinais de um CLP (Controlador Lógico Programável) tem diversos desafios sempre inerentes aos valores de tensão de cada aplicação, haja vista que os CLPs têm por padrão sinais de 24Vcc e o Arduino trabalha com 5Vcc, mas que resolvemos de forma simples como uso das Shields de relés para os acionamentos das eletroválvulas e s Shield dos optoacopladores para a leituras dos sensores.

A aplicação do sistema sem fio para comunicação entre os microcontroladores é o maior diferencial deste estudo pois possibilita a integração entres as bancadas do laboratório de estudos e a máquina, neste caso a mesa separadora. Assim a dinâmica que num sistema convencional com fios levaria mais tempo a problemas de espaços e cabos espalhados pela sala de aula, é resolvida de forma simples quando à aplicação e de pequeno custo já que os módulos têm valores baixos em relação a diversos outros sistemas de automação.

Ainda existem outras possibilidades de expansão deste estudo para que se possa implementar outras aplicações ou desenvolver novos projetos de aula, como exemplo, cito o desenvolvimento de uma fila de pedidos no sistema, ou até uma supervisão via softwares para que o aluno acompanhe as etapas do processo na tela de um computador além de outras possibilidades.

## REFERÊNCIAS

Stevan Junior, Sergio Luiz. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino: Teoria e Projetos / Sergio Luiz Stevan Junior, Rodrigo Adamshuk Silva. -- São Paulo : Érica Editora, 2015.

STALLINGS, William. *Redes e sistemas de comunicação de dados*. 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000.

Smar (2015). Plantas didáticas pd3-f: Manual de instruções, operação e manutenção: Plantas didáticas. 3ª edição.

IBM – Site Oficial: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/microcontroller> - Publicado em 04/06/2024 pelos colaboradores Josh Schneider e Ian Smalley – Visitado pelo autor em 20/05/2025.

Arduino – Site Oficial: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino/> - Wha tis Arduino – última revisão: 25/01/2022 – Visitado pelo autor em 27/05/2025.

McRoberts, Michael. Arduino básico / Michael McRoberts ; [tradução: Rafael Zanolli]. -- São Paulo : Novatec Editora, 2011.

BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. *Arduino: aprendendo a programar com ele*. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015.

SILVA, L. R. B.; ENDO, W.; SCALASSARA, P. R.; ANGÉLICO, B. A. Práticas de aprendizagem para sistemas de controle de processos: identificação de sistemas utilizando uma planta didática industrial. XI Congresso Brasileiro de Engenharia, Belém-PA, 2012.

ROGGIA, LEANDRO. *Automação industrial* / Leandro Roggia, Rodrigo Cardozo Fuentes. – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.

MALVINO, Albert P.; BATES, David J. *Eletrônica*. Volume 1. Tradução de Antônio Pertence Jr. São Paulo: AMGH, 2016.

VIEIRA, Jéssica dos Santos. *Planta didática automatizada para ensino de graduação em engenharia*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015

PAZOS, Fernando. *Automação de Sistemas e Robótica*. 1. ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

BONACORSO, J. *Automação Eletropneumática*. 1. ed. Porto Alegre: SENAI-RS, 1997.

Laboratório Digital da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP): [www2.pcs.usp.br](http://www2.pcs.usp.br) - visitado pelo autor em 24/05/2025.

Manual de usuário do módulo de comunicação HC-12 – versão 1.18: <https://www.elecrow.com/download/HC-12.pdf> consultado pelo autor em 20/05/2025.

Tecniar. *Sensor Capacitivo: O que é e como funciona*. Disponível em: <https://www.tecniar.com.br/noticias/sensor-capacitivo-o-que-e-e-como-funciona/>. Consultado pelo autor em 03/06/25.

PC817X DataSheet - Sheet No.: D2-A03101EN Data: 30/09/2003 - © SHARP Corporation consultado pelo autor em 24/05/2025.

ATMEGA 2560 - ATMEL Corporation. 8-bit AVR Microcontroller with 8/16/32Kbytes of ISP Flash and USB Controller datasheet. San Jose. 2012.

MARQUES, Luiz Eduardo. *Componentes eletrônicos: teoria e prática*. São Paulo: Érica, 2016.

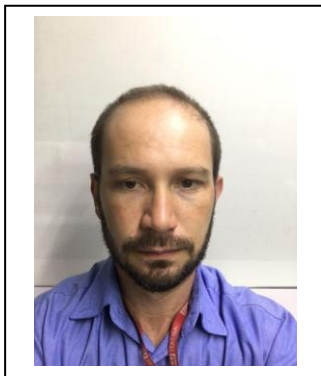
## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram nessa nova jornada de conhecimento desde o incentivo dos coordenadores da escola passando também pelo profundo valor de minha família nos desprendimentos de tempo e compreensão e culminando no aprendizado técnico oferecido por todo corpo docente da instituição e em especial ao Prof. Me. Michel Chaparro como fundamental orientador.

## **SOBRE O(S)AUTOR(ES)**

---

### **FERNANDO JORGE LUCHESI**



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela UNIFACCAMP (2007), cursando atualmente a Pós-Graduação em Automação e Controle de Processos Industriais pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2025). Tem experiência na área de Projetos Didáticos para aplicação em cursos Técnicos em Eletroeletrônica. É Instrutor de Formação Profissional no CFP5.08 escola SENAI Luiz Scavone – Itatiba – SP.

**MICHEL DE MOURA CHAPARRO** - [michel.chaparro@sp.senai.br](mailto:michel.chaparro@sp.senai.br)

**TATIANA APARECIDA DE ALMEIDA** - [tatiana.almeida@sp.senai.br](mailto:tatiana.almeida@sp.senai.br)

**JOSE NEVES BEZERRA JUNIOR** - [jose.njunior@sp.senai.br](mailto:jose.njunior@sp.senai.br)

**HUGO SAKAI IDAGAWA** - [hugo.sakai@sp.senai.br](mailto:hugo.sakai@sp.senai.br)