

The Arduino Microcontroller For Automation In The Final Testing Of The Production Line For Satellite Tv Signal Receivers Of A Company In The Manaus Industrial Pole (Pim)

Raymundo Nonato Furukawa

Sandro Breval Santiago

Orlem Pinheiro De Lima

Márcia Ribeiro Maduro

Abstract

Objective: Implement a technological solution using the Arduino Nano microcontroller to automatically perform one of the operations in the final test of the satellite signal receiver. Methodological procedures: Case study, bibliographic and documentary research. Results: Manually the process took 5.16 seconds to complete, with automation the process started to be executed in 4.93 seconds. In other words, before automation, the industry produced 5,760 receivers per day in 8.25 hours of work. After applying the Arduino Nano microcontroller, the production line started producing 6,024 in the same time, that is, in 8.25 hours of work. Thus, presenting an increase in productivity of 264 receivers per day and 1,320 per week (5 days). Final considerations: If well implemented, automation with Arduino can bring profitability to the industry, as happened in the case study, with improvements that directly reflected in costs, as there was a reduction in the number of employees executing the process; reduction in time to execute the process; reduction of a possible Repetitive Strain Injury; increased productivity and profitability.

Keywords: Industrial automation; Production line; Arduino Nano.

Date of Submission: 01-06-2024

Date of Acceptance: 10-06-2024

I. Introdução

A automação é um conjunto de técnicas que visa a construção de sistemas ativos com capacidade de atuar de maneira altamente eficiente, utilizando elementos obtidos do próprio processo em que estão inseridos. Com base nessas informações, o sistema realiza cálculos para executar ações corretivas conforme a demanda do processo. Essa abordagem caracteriza os sistemas em malha fechada, conhecidos também como sistemas com realimentação, os quais relacionam a saída do sistema com a entrada do processo (Silva; Nascimento, 2003).

Hoje, a automatização industrial é essencial para a modernização de indústrias e empresas. A implementação de técnicas de automatização possibilita a atualização completa, desde o chão de fábrica até a gestão das informações do processo. Assim, a automatização não surge como uma simples moda tecnológica ou de mercado, mas sim como uma iniciativa das empresas atuais para aumentar a eficiência, melhorar o atendimento, ter controle total sobre as informações do processo e da empresa, e, por conseguinte, alcançar resultados financeiros mais significativos do que os concorrentes (Silva; Nascimento, 2003).

O sistema de produção em linha industrial trouxe uma importante mudança para o setor industrial, aumentando sua eficiência por meio da especialização de cada trabalhador em suas tarefas. A consolidação da indústria 4.0 impulsionou uma nova revolução na maneira como as fábricas operam. A automação tornou-se uma realidade atual e um requisito fundamental para as empresas que almejam se manter competitivas.

Quando se aborda a automatização na linha de produção industrial, é indispensável mencionar a relevância da integração dos processos, criando assim um sistema mais lógico. A utilização de *softwares* e máquinas com maior autonomia não apenas possibilita a interligação dos processos, como também gera indicadores para monitorar cada passo. A automatização é fundamental para reduzir erros e perdas durante a realização das tarefas industriais, sendo essencial para o desenvolvimento de um futuro mais sólido para a indústria, no qual a precisão na produção é aprimorada (Grupo CSX, 2023).

O Arduino é uma plataforma desenvolvida para facilitar a interação entre o ambiente físico e o computador por meio de dispositivos eletrônicos, utilizando uma abordagem simples e com ênfase em *softwares* e *hardwares* de código aberto. Consistindo em uma placa de circuito que inclui entradas e saídas para um microcontrolador AVR, juntamente com um ambiente de desenvolvimento e um *bootloader* já gravado no

microcontrolador, o Arduino permite a programação do microcontrolador para executar funções específicas. Embora existam outras plataformas disponíveis para microcontroladores, o Arduino se destaca globalmente devido à sua programação acessível, versatilidade e custo reduzido (Silva, 2018).

Portanto, esse trabalho justifica-se pela melhoria que a proposta ofereceu ao balanceamento de linha de produção de receptores de sinal de TV via satélite em uma empresa no Polo Industrial de Manaus (PIM). A aplicação do microcontrolador Arduino automatizou uma atividade operacional que era executada manualmente, aumentando a produtividade da fabricação de receptores, reduzindo custo com mão de obra, melhorando a qualidade do produto, pois, além de ser de baixo custo, possui a facilidade na obtenção dos códigos fontes e diagramas que são disponibilizados gratuitamente.

Como é observado, a automação industrial é um campo de estudo amplo, que inclui várias áreas do conhecimento humano de forma interdisciplinar. Sendo assim, este artigo foi delimitado a aplicação do microcontrolador Arduino no teste final da linha de produção de receptores de sinal de TV via satélite. Surgindo então o seguinte questionamento: a implementação do microcontrolador Arduino para automação no teste final da linha de produção de receptores de sinal de TV via satélite em uma empresa no Polo Industrial de Manaus pode gerar ganho de produtividade e voltar a ser competitiva?

O mercado enfrenta grandes transformações promovidas pela quarta revolução industrial. A busca incessante pela competitividade tem sido a tônica das empresas. As organizações que desejarem sobreviver e se desenvolver em seu ramo de atuação, precisam buscar formas e meios de superar suas deficiências.

O artigo tem como objetivo geral implementar uma solução tecnológica utilizando o microcontrolador Arduino Nano para executar automaticamente uma das operações no teste final do receptor de sinal via satélite, para alcançar este objetivo foi pesquisado trabalhos que utilizaram microcontroladores como transmissor e receptor de sinais de controle remoto em processo produtivo, também foi desenvolvido um protótipo contemplando os artefatos de *hardware* e *software*, com aplicação de teste (piloto) na linha de montagem, por fim, foi analisado o resultado obtido do teste piloto.

O instrumento utilizado foi o método de estudo de caso, cujo objetivo foi demonstrar uma situação real vivenciado pela empresa, o estudo foi desenvolvido em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, que tem o seu foco voltado a executar automaticamente uma das operações (padrão de fábrica) no teste final do receptor de sinais via satélite utilizando o microcontrolador Arduino.

II. Fundamentação Teórica

Esta seção expõe os conceitos básicos sobre a automação industrial, introduzindo também um resumo com os principais tópicos para o entendimento da temática.

Aplicação Da Automação Na Elevação Da Produtividade

Para Groover (2010), a automação é o uso de tecnologia que possibilita realizar um processo sem intervenção humana, utilizando um conjunto de instruções ajustados com um sistema de controle que as executa. Automatizar um procedimento demanda energia para conduzir o processo e operar o programa e o sistema de controle necessários.

A partir do século XVIII, a automação industrial começou a ganhar relevância na sociedade, marcando o início da Revolução Industrial que teve origem na Inglaterra. Com o aprimoramento dos métodos de produção, houve um aumento na escala de produção de mercadorias. Nesse contexto, surgiram diversas inovações tecnológicas com o intuito de elevar a produtividade, tais como máquinas modernas que possibilitavam uma produção mais precisa e veloz em comparação ao trabalho manual, além do uso de novas formas de energia, como o vapor, que passou a ser empregado nas máquinas em substituição à energia hidráulica e muscular (Roggia; Fuentes, 2016).

Muitas pessoas temem que a automação resulte na perda de empregos, mas na realidade, pode acontecer o oposto. A falta de automação leva muitas pessoas ao trabalho, no entanto, essas empresas não conseguem competir financeiramente com outras, devido à sua baixa produtividade causada pela ausência de automação, o que as leva a demitir funcionários ou até mesmo encerrar suas operações. Dessa forma, a automação pode representar um aumento na estabilidade do emprego, graças ao aumento da produtividade, eficiência e economia (Ribeiro, 1999).

Devido à sua amplitude, a automação engloba uma variedade de conhecimentos de áreas distintas, tais como elétrica, eletrônica, mecânica, gestão e outras. Ao examinar o conceito de automação, percebe-se claramente sua aplicabilidade em diversos setores industriais, uma vez que os benefícios de aumento da produtividade, a melhoria da qualidade do produto e ganhos econômicos são altamente valorizados em qualquer ramo produtivo.

Partindo da ideia de que a automação pode ser aplicada em qualquer setor, um projeto que utiliza o microcontrolador Arduino para automatizar o teste final na linha de produção de receptores de sinal de TV via satélite de uma empresa no PIM é altamente elogiável. As vantagens obtidas são de grande importância para uma indústria que atua em um mercado rigoroso, onde a qualidade dos produtos é exigida em alto nível.

Um sistema automatizado pode trazer benefícios significativos para uma indústria, tais como: redução de custos com mão de obra, melhoria na qualidade dos produtos, diminuição dos custos de estoque, menor quantidade de produtos perdidos, redução de tempo no desenvolvimento de novos produtos, facilidade na implementação de modificações nos produtos e resposta rápida às demandas do mercado (Araújo Júnior et al., 2003).

Com o foco na aplicação da tecnologia da informação no controle e automação, as tecnologias têm um papel crescente na multidão com o intuito de otimização. O sistema é capaz de realizar monitoramento remoto em tempo real, coleta de dados e processamento de desempenho, o que também contribui para a segurança do processo e dos colaboradores (Rocha, 2022).

Linha De Produção

Uma linha de produção é composta por uma série de estações de trabalho com posições fixas e sequências determinadas pela lógica das operações sucessivas a serem realizadas (Oliveira et al., 2012).

Monden (2015) explica que no chão de fábrica, estabelecer um fluxo contínuo nas linhas de produção é de crucial importância para obter uma linha eficiente, que ofereça produtos competitivos aos clientes, respondendo de maneira ágil às variações de mercado e às demandas do mesmo. Dentre as ferramentas utilizadas para alcançar esse objetivo, destaca-se o balanceamento de linha, que, segundo Gerhardt (2005), tem como objetivo minimizar o tempo ocioso total dos operadores para melhor aproveitamento dos recursos produtivos.

Geralmente, os gerentes de produção se dedicam a fazer cálculos para determinar o número ideal de postos de trabalho que garantam um fluxo constante no processo, minimizando as ociosidades de máquinas e pessoal. Ao alcançar a otimização e evitar perdas, a produtividade atinge níveis desejados, resultando em redução de custos (Oliveira et al., 2012).

Identificar e eliminar desperdícios é crucial para uma indústria, uma vez que estes podem representar grandes prejuízos. Com a eliminação dos desperdícios, a empresa aumenta seus lucros e se torna mais competitiva no mercado (Suzaki, 2010).

Microcontrolador Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto que se baseia em *hardware* e *software* simples de usar. É empregado na criação de projetos eletrônicos e é ótimo para desenvolver dispositivos que possam interagir com o ambiente. Esses dispositivos usam sensores de temperatura, luz, som, entre outros, como entrada, enquanto LEDs, motores, displays, alto-falantes, entre outros, são usados como saída. Dessa forma, são criadas inúmeras possibilidades (Souza et al., 2011).

Com o Arduino, é viável planejar e construir dispositivos que interajam com os objetos ao redor. Suas placas são essencialmente uma ferramenta para controlar a parte eletrônica. Elas têm a capacidade de receber informações do ambiente através de seu microcontrolador integrado, como a detecção de luz por um sensor ou a proximidade de um objeto, e depois transformar esses dados em ações específicas, como acionar motores, emitir alarmes, acender LEDs ou mostrar informações em um display de LCD. Entretanto, é fundamental programar a placa Arduino utilizando o Arduino IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) (Hermínia, 2020).

O sistema da plataforma consegue interagir com o ambiente através de *hardware* e *software* integrados a um dispositivo com um propósito específico. Trata-se de um projeto de código aberto que tem a capacidade de ser replicado tanto em termos de *software* (usando linguagem de programação em C/C++) quanto em *hardware*. O Arduino, assim como um controlador lógico programável, é capaz de controlar os sistemas industriais (Ferroni et al., 2015).

No protótipo descrito no artigo, foi utilizado o Arduino Nano, uma placa de prototipagem que contém o microcontrolador ATmega328p, um conversor USB-UART e componentes de alimentação e temporização, incluindo um regulador e dois ressonadores cerâmicos. Esta é uma das placas mais compactas da linha original do Arduino, sendo uma excelente escolha para prototipagem. Seus pinos estão dispostos com o espaçamento correto e todos podem ser integrados às trilhas, onde os pinos superiores na placa estão conectados aos correspondentes inferiores. Com seu conversor integrado, é possível se comunicar diretamente com o computador por meio das portas USB (Santos et al., 2023).

Os usuários do Arduino têm a liberdade criativa como principal recurso para explorar suas funcionalidades, mais do que serem limitados por restrições técnicas ou de conhecimento em eletrônica e programação. Por meio dessa plataforma, é possível criar objetos que reajam a sinais visuais, ajustem a intensidade de luz, emitam sons, realizem movimentos, e muito mais (Ferroni et al., 2015).

O Arduino Nano é compatível com uma diversidade de componentes, sensores e módulos disponíveis no mercado, ampliando assim as possibilidades da placa, permitindo que ela perceba o ambiente ao seu redor e meça variadas grandezas, como pressão, temperatura, umidade, luminosidade, dentre outras. Além disso, é viável controlar diversos tipos de cargas, desde acender um simples LED até operar robôs e sistemas automatizados (Santos et al., 2023).

Estudo De Tempos De Movimentos

De acordo com Peroni (1985), a análise de tempos e métodos fornece dados estatísticos concretos e é uma abordagem que visa alcançar altos níveis de eficiência. Os tempos são meticulosamente avaliados e cronometrados com o objetivo de reduzir desperdícios, além de otimizar a produção ao racionalizar o cansaço dos operadores.

A análise de tempos por meio da cronoanálise é uma técnica empregada para mensurar e controlar estatisticamente a atividade a ser realizada, determinando o tempo padrão (TP) que indica a capacidade produtiva da empresa. O tempo padrão inclui aspectos como a velocidade do operador na execução da tarefa, seu rendimento com margens de variação em termos percentuais, fadiga do operador e ainda as particularidades pessoais desse operador (Peinado; Graeml, 2004).

Segundo Tubino (1999), o Lead Time refere-se aos períodos de tempo necessários para que o sistema produtivo converta matéria-prima em produto final. Pode-se analisar esse tempo de maneira específica, como o *lead time* de produção, considerando somente as atividades internas do sistema.

Já o *Takt Time* consiste na demanda do mercado e no tempo disponível para a produção. Trata-se de um ritmo de produção essencial em determinado momento para atender a uma demanda específica (Antunes, 2008). O tempo operacional efetivo corresponde ao tempo disponível subtraindo as paralisações planejadas, como intervalos para refeições, reuniões, limpezas e manutenções programadas (Rother, 2010).

O tempo de ciclo trata-se do tempo necessário para um operador completar um ciclo de trabalho no processo, excluindo os períodos de espera. De acordo com Alvarez; Júnior (2001), no ambiente fabril, o tempo de produção é influenciado pelas condições operacionais.

A cronoanálise é uma técnica utilizada para estabelecer o tempo que um funcionário deve empregar na realização específica de uma tarefa, mantendo um excelente desempenho (Abreu et al., 2006).

III. Metodologia

Tipo De Pesquisa

Baseando-se na taxionomia de Vergara (2005), a classificação da pesquisa foi realizada considerando os objetivos e os métodos utilizados. Em relação aos objetivos, o estudo é classificado como uma pesquisa exploratória com características descritivas.

Conforme Vergara (2005), a natureza exploratória da pesquisa se deve ao fato de ser conduzida em uma área com conhecimento limitado e não sistematizado. Já a pesquisa descritiva tem por finalidade expor características de uma população ou de um fenômeno específico, sem a obrigação de explicar os fenômenos descritos, embora possa servir como base para futuras explicações.

Quanto aos meios, como sendo uma pesquisa de campo, de acordo com Vergara (2005), a pesquisa de campo consiste na investigação empírica realizada no local onde um fenômeno aconteceu, utilizando elementos disponíveis para sua análise. Também possui um viés bibliográfico, já que consiste em uma análise organizada realizada a partir de fontes publicadas em livros, revistas, meios eletrônicos, ou seja, materiais disponíveis para o público em geral.

Desenvolvimento Da Pesquisa

A pesquisa utilizou o método científico para aprofundar e embasar os estudos acerca da aplicabilidade do mapeamento de processos, dando início ao estudo de caso, descritivo, bibliográfico e documental, com abordagem qualitativa.

Primeiramente, foi identificado na internet, um Arduino (hardware) cuja função de controle remoto envolvia o ligar, desligar, mudar de canais e aumentar/diminuir volume de um televisor. Para obter os códigos do controle remoto, foi empregada a biblioteca IRremote, a qual suporta diversos protocolos e é capaz de capturar códigos com até 32 bits. A instalação da biblioteca foi feita de forma direta através da IDE do Arduino.

De início, com o protótipo do dispositivo montado e programado, houve dificuldade para sua implementação, pois após a compilação/carregamento do *sketch*, o dispositivo não

funcionou, devido a versão da biblioteca IRremote versão 4.2.1, e para solucionar o problema, foi atualizado com a versão 3.0.0 que veio a funcionar a contento.

Foi necessário verificar nas Folhas de Instruções de Trabalho (FIT) a sequência das teclas que seriam pressionadas para executar o padrão de fábrica no receptor, então foi baixado o *software* cuja função era ler os códigos correspondentes as teclas que seriam utilizadas. Posteriormente, foi feita a programação com o objetivo de enviar os sinais na sequência orientada na FIT e executar o padrão de fábrica em um simples apertar de um botão.

Após a programação do protótipo o dispositivo foi aplicado na linha de montagem, numa indústria do Polo Industrial de Manaus, ambiente de trabalho do pesquisador, com o objetivo de executar automaticamente uma das operações (padrão de fábrica) no teste final do receptor de sinais via satélite.

IV. Resultados E Discussão

Nesta Seção, é apresentado o desenvolvimento do protótipo contemplando os artefatos de *hardware* e *software*, com aplicação de teste (piloto) na linha de montagem, e análise do resultado obtido.

Para elaboração do protótipo, primeiro, foi necessário fazer a clonagem dos códigos do controle remoto do produto (Tabela 1), que são trechos de códigos replicados, a adição de clones a esse sistema acontece através da inclusão de novas funcionalidades, copiar e colar códigos e reutilizar códigos para um propósito específico.

Tabela 1: Lista dos códigos clonados do controle remoto do produto

Teclas	Códigos
Power	0x60F73BC4
Mute	0x60F739C6
L/R	0x60F7A15E
CC	0x60F7817E
Tecla +	0x60F7E916
Volume +	0x60F7837C
Volume -	0x60F79966
Canal +	0x60F753AC
Canal -	0x60F74BB4
OK	0x60F7738C
Voltar	0x60F7A35C
Menu	0x60F7A956
Info	0x60F7C33C
1	0x60F749B6
2	0x60F7C936
3	0x60F733CC
4	0x60F7718E
5	0x60F7F10E
6	0x60F713EC
7	0x60F751AE
8	0x60F7D12E
9	0x60F723DC
0	0x60F7E11E
TV radio	0x60F711EE
Last	0x60F741BE

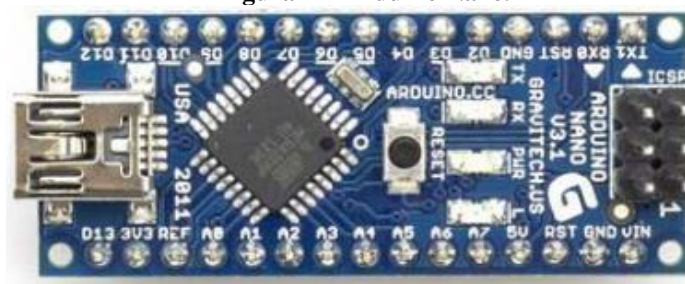
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

O controle remoto é um dispositivo utilizado para enviar instruções a dispositivos à distância. Ele emprega protocolos bem estabelecidos e consolidados para se comunicar com os aparelhos que controla. Na parte interna do controle remoto infravermelho há um microcontrolador, um teclado e LEDs responsáveis por transmitir impulsos de luz infravermelha. Cada impulso gera um código que é enviado do emissor para o receptor do sistema, que por sua vez o decodifica.

Constituição Do Dispositivo Proposto

A plataforma Arduino Nano (Figura 1) possui 14 pinos de entradas/saídas digitais, 8 entradas analógicas, 1 UARTs (porta serial de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão micro-USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset.

Figura 1 – Arduino Nano.



Fonte: Oliveira (2015)

Suas principais especificações: versão atual: 3.0; microcontrolador: ATmega328p; tensão de operação: 5VDC; tensão de alimentação recomendada: 7 a 12VDC; limite de tensão de alimentação: 6 a 20VDC; portas digitais (I/O): 14 (das quais 6 oferecem PWM); entradas analógicas: 8; corrente DC por porta digital (I/O): 40mA; memória Flash: 32kb (ATmega328p) dos quais 2Kb são utilizados pelo carregador de inicialização; SRAM: 2Kb (ATmega328p); EEPROM: 1Kb (ATmega328p); velocidade do Clock: 16MHz; dimensões: 16mm(L) X 6mm(A) X 45mm(C); peso: 6g.

Módulos Do Dispositivo

Os módulos Arduino consistem em conjuntos de componentes eletrônicos interconectados em uma única placa, com finalidades específicas, variando em funcionalidades, tamanhos e preços. Eles são elementos que têm a capacidade de aprimorar o desempenho do Arduino, conferindo maior robustez ao projeto. Os módulos podem ser, por exemplo, displays de caracteres LCD, displays de LED, acelerômetros, drivers, amplificadores, conversores, entre outros. Além disso, há os chamados *shields*, que são placas que podem ser encaixadas no Arduino para expandir suas capacidades (Oliveira; Carvalho, 2014).

Módulos Do Transmissor

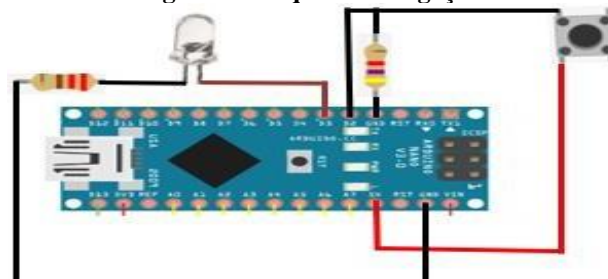
O módulo transmissor é composto de *hardware* e *software*. O *software* é desenvolvido pela linguagem baseada em C/C++ e é entendida por meio de bibliotecas C++, usando um ambiente gráfico. O *software* Arduino IDE possibilita a elaboração de *sketches* para a placa Arduino, bem como a compilação e envio do código para a placa.

No que diz respeito ao *hardware*, o Arduino consiste em uma placa de controle que gerencia a entrada de dados (IN), como sensores, e a saída de dados (OUT), incluindo motores. Possui um cristal oscilador de 16 MHz, um regulador de tensão de 5 V, um botão de reset, um plugue de alimentação, pinos conectores e alguns LEDs.

Hardware Do Dispositivo

Para implementação do hardware, foi necessário a montagem do circuito elétrico, a Figura 2 apresenta o esquema após a montagem da parte física (Hardware) do dispositivo.

Figura 2 - Esquema de ligações



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O material utilizado (montagem do Hardware) para a leitura dos códigos do controle remoto foram o microcontrolador Arduino Nano, sensor IR, resistor, solda e fios, na Tabela 2 tem-se detalhamento quanto a quantidade, descrição, preço dos materiais e na Figura 2, o esquema de ligações elétricas.

Tabela 2 - Lista de materiais

Qt	Descrição	Preço Total R\$	Preço Unit. R\$	Observações
1	Arduino Nano	40,00	40,00	Mercado livre
1	Diodo LED IR 5MM YIR305SBW-238KHZ			Existe na empresa
1	Resistor 4k7 1/4W			Existe na empresa
1	Resistor 220R 1/4W			Existe na empresa
	Solda, fios			Existe na empresa

Fonte: Elaborado pelo autor

Software Do Dispositivo

Na implementação do *software* do dispositivo foi utilizada a IDE 1.8.19 (Arduino), código aberto que facilita a escrita de código e o *upload* para a placa, pode ser usado com qualquer placa Arduino e funciona nos sistemas operacionais Windows, Mac OS X e Linux. Também se fez uso da biblioteca IRremote obtido no link: https://drive.google.com/file/d/1M6Y5Besu6c4ymvK1ggt-5rdnO_DpVa/view. O programa utilizado para padrão de fábrica está representado na Figura 3.

Figura 3 – Programa para executar o padrão de fábrica

```
#define botao 2
#include <IRremote.h>
IRsend irsend;
int statusBotao;
int ultimoStatusBotao = LOW;
int tempol = 100;
unsigned long tempoUltimoDebounce = 0;
unsigned long tempoDebounce = 50;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(botao, INPUT);
}

void loop() {
  debounceBotao();
}

void debounceBotao() {
  int leitura = digitalRead(botao);
  if (leitura != ultimoStatusBotao) {
    tempoUltimoDebounce = millis();
  }

  if ((millis() - tempoUltimoDebounce) > tempoDebounce) {
    if (leitura != statusBotao) {
      statusBotao = leitura;
      if (statusBotao == HIGH) {
        irsend.sendNEC(0x60F7A956, 32); //tecla Menu
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F753AC, 32); //tecla Canal +
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F753AC, 32); //tecla Canal +
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7837C, 32); //tecla Volume +
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7738C, 32); //tecla OK
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7837C, 32); //tecla Volume +
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7837C, 32); //tecla Volume +
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7738C, 32); //tecla OK
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7738C, 32); //tecla OK
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7E11E, 32); //tecla 0
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7E11E, 32); //tecla 0
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7E11E, 32); //tecla 0
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7E11E, 32); //tecla 0
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7837C, 32); //tecla Volume +
        delay(tempol);
        irsend.sendNEC(0x60F7738C, 32); //tecla OK
        delay(100); // alterado de tempol para 500
      }
    }
    ultimoStatusBotao = leitura;
  }
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

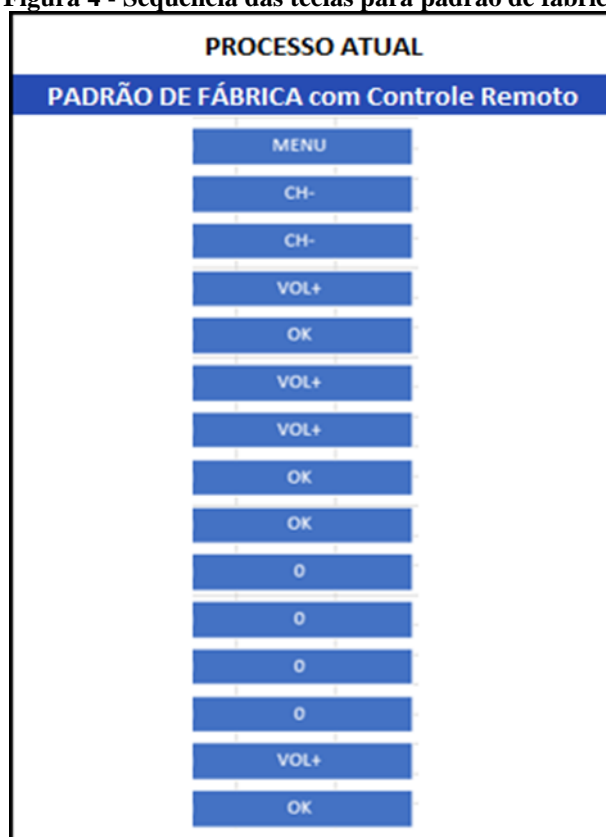
Durante a programação de um *software*, ocorre a comunicação entre a placa controladora e o programa por meio de *strings* ou cadeias de caracteres. Para que as informações sobre os códigos Infravermelhos (IR) sejam transmitidas entre diferentes plataformas nesse formato, é preciso estabelecer uma convenção para a conversão desses dados, que determinará um protocolo para o envio das mensagens (Oliveira, 2015).

Análise Do Requisito

O *software* do dispositivo tem o objetivo de atender os seguintes requisitos: Enviar os sinais infravermelho para o produto executar o padrão de fábrica, com a finalidade de diminuir uma possível Lesão por Esforço Repetitivo (LER); reduzir o número de colaboradores na execução do processo; reduzir o tempo para executar o processo de padrão de fábrica; aumentar a produtividade; aumentar a lucratividade.

Com a aplicação do processo, utilizando o Arduino Nano, mitigou os movimentos dos dedos de 15 para somente 1 movimento, a Figura 4 apresenta o processo do padrão de fábrica antes da prototipação do Arduino. Diminuindo consideravelmente uma futura LER.

Figura 4 - Sequência das teclas para padrão de fábrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Outro ponto importante foi o tempo para executar o teste final na linha de produção de receptores no padrão de fábrica, manualmente o processo levava o tempo de 5,16 segundos, com a automação, o processo passou a ser executado no tempo de 4,93 segundos. Ou seja, antes da automação, a indústria onde foi aplicado o protótipo, produzia em 8,25 horas de trabalho 5.760 receptores por dia. Após a aplicação do microcontrolador Arduino Nano, a linha de produção passou a produzir 6.024 no mesmo tempo, ou seja, em 8,25 horas de trabalho. Apresentando assim, aumento de produtividade de 264 receptores, por dia e 1.320 em uma semana trabalhada (Tabela 3).

Tabela 3 – Ganho de produtividade

POSTO	TEMPO CICLO	CAP. HORA	CAP. DIA	CAP. SEM.
MANUAL	5,16 seg.	698,18	5.760,00	28.800,00
ARDUINO	4,93 seg.	730,22	6.024,34	30.121,70
GANHO DE PROD.		32,04	264,34	1.321,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O tempo-padrão é uma das métricas mais comuns usadas na produção, no entanto, sozinha essa medida não é suficiente para explicar as variações no desempenho dos sistemas produtivos, que frequentemente são influenciados por diferentes elementos relacionados à medição do tempo (Milnitz, 2018).

Cada etapa envolvida na fabricação de um produto oferece diversas oportunidades para análises sobre os métodos de trabalho. Sendo assim, a eficiência necessária será alcançada quando o processo for executado sem desperdício de movimentos, tempo, energia e sob condições de eficácia elevada e apropriada, seguindo um procedimento estabelecido.

A eficiência produtiva é fundamental para a continuidade de uma indústria em meio ao competitivo mundo atual. Gerenciar essa eficiência tem se tornado cada vez mais crucial em um cenário globalizado de negócios. Atualmente, sem produtividade e sem um processo produtivo eficiente, é improvável que uma indústria alcance o sucesso ou se mantenha no mercado (Massi, Camargo, 2021).

V. Considerações Finais

Respondendo ao problema aventado: A implementação do microcontrolador Arduino para automação no teste final da linha de produção de receptores de sinal de TV via satélite em uma empresa no Polo Industrial de Manaus pode gerar ganho de produtividade e voltar a ser competitiva?

Sim, de acordo com os resultados obtidos no estudo de caso, a implementação do Arduino Nano foi positiva, pois houve diminuição de tempo haja vista que manualmente o processo levava 5,16 segundos para a finalização e com a automação o processo passou a ser executado no tempo de 4,93 segundos. Ou seja, antes da automação a indústria produzia em 8,25 horas de trabalho 5.760 receptores por dia. Após a aplicação do microcontrolador Arduino Nano a linha de produção passou a produzir 6.024 no mesmo tempo, ou seja, em 8,25 horas de trabalho. Apresentando, assim, aumento de produtividade de 264 receptores ao dia e 1.320 na semana (5 dias).

Enfim, se bem implementado a automação com o microcontrolador Arduino pode trazer lucratividade para a indústria, como foi observado no estudo de caso do artigo, sendo que houve otimização e melhora dos processos que refletiram diretamente nos custos, pois houve redução de número de colaboradores na execução do processo; redução no tempo para executar o processo; diminuição de uma possível Lesão por Esforço Repetitivo; aumento da produtividade e da lucratividade.

Uma ideia para projetos futuros é expandir a automatização para outras etapas da linha de produção, além daquela implementada, através da inclusão de novos dispositivos conectados no Arduino, promovendo assim um aumento adicional na eficiência e rentabilidade.

Referências

- [1] Abreu, Y.F.M.; Santos, G.P.S.; Cardoso, L.; Nuss, L.F.; Lima, F.N. Melhoria De
- [2] Processo: Ganho No Fluxo Produtivo Em Linha De Montagem. Associação Educacional Dom Bosco (Aedb), Resende, 2006.
- [3] Alvarez, R.R.; Junior, J.A.V.A. Takt-Time: Conceitos E Contextualização Dentro Do Sistema Toyota De Produção, P.7, Gestão & Produção, 2001
- [4] Antunes, Et Al. Sistemas De Produção: Conceitos E Práticas Para Projetos E Gestão Da Produção Enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- [5] Araújo Júnior, A.P.; Chagas, C.V.; Fernandes, R.G.F. Redes Para Automação
- [6] Industrial – 2003.1. Dca-Ct-Ufrn, Natal – Rn. Disponível Em: https://www.dca.ufrn.br/~Affonso/Ftp/Dca447/Trabalho1/Trabalho1_6.Pdf. Acesso Em: 01 Abr. 2024.
- [7] Ferroni, E.H.; Vieira, H.R.; Nogueira, J.H.; Santos, R.K.C.; Lemos, R.M.;
- [8] Rodrigues, T.B. A Plataforma Arduino E Suas Aplicações. Centro Universitário Do Sul De Minas Unis-Mg. Revista Da Ui Ipsantar, Vol.3, N.2, 2015, P.1-16. Disponível Em: <https://revistas.rcaap.pt/uiips/article/view/14354>. Acesso Em: 25 Mar. 2024.
- [9] Gerhardt, M.P. Sistemática Para Aplicação De Procedimentos De Balanceamento Em Linhas De Montagem Multi-Modelos. 2005. 129f. Dissertação (Mestrado Em Engenharia De Produção) - Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2005.
- [10] Groover, M.P. Automação Industrial E Sistemas De Manufatura. [S.L.]: Editora Pearson, 2010. Citado Na Página 14.
- [11] Grupo Csx. Linha De Produção Industrial: Saiba A Importância De Automatizar. Direitos Reservados @Csxtecnologia, 2023. Disponível Em: <https://grupocsx.com.br/2021/04/07/Linha-De-Producao-Industrial-Saiba-A-Importancia-De-Automatizar/#:~:Text=%20sistema%20de%20linha%20de,Com%20o%20aux%C3%Adlio%20de%20m%C3%A1quinas>. Acesso Em: 01 Abr. 2024.
- [13] Hermínia, C. Modelos E Tipos De Arduino. Publicado Em 30 De Março De 2020. Disponível Em: <https://blog.smartkits.com.br/tipos-de-arduino/>. Acesso Em: 02 Mar. 2024.
- [15] Massi, M.L.; Camargo, L.A.A. A Qualidade De Vida No Trabalho E Sua Relação Com A Produtividade E Lucratividade De Uma Empresa De Serviço De Pequeno Porte. Revista Eniac Pesquisa, Guarulhos (Sp), V.10, N.2, Set.-Jan.2021.
- [16] Milnitz, D. Tempos E Métodos Aplicados À Produção. Estudos Da Disciplina Tempos E Métodos Aplicados À Produção. Indaiat: Uniasselvi, 2018. Disponível Em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/Layout/Request/Trilha/Materiais/Livro/Livro.Php?Codigo=30483>. Acesso Em: 26 Mar. 2024.
- [17] Monden, Y. Sistema Toyota De Produção: Uma Abordagem Integrada Ao Just-In-Time. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- [18] Oliveira, A.A.; Carvalho, F.K. Tulkolk: Um Jogo De Console Utilizando A Plataforma Arduino. Rio De Janeiro, Rj, Agosto De 2014. Escola De Informática Aplicada, Universidade Federal Do Estado Do Rio De Janeiro (Unirio).
- [19] Oliveira, C.M. Sistema Para Mapeamento De Códigos Infravermelho E Criação De Controles Remotos Virtuais. Centro Federal De Educação Tecnológica Celso Suckow Da Fonseca – Cefet/Rj. Rio De Janeiro, 2015.
- [20] Oliveira, F.N.; Queiroz, V.T.M.; Teixeira, C.S.L.; Ramos, D.S.; Gama, A.B.C.S.
- [21] Balanceamento De Linha De Produção: Um Estudo De Caso Em Uma Indústria Naval. Xxxii Encontro Nacional De Engenharia De Produção, Desenvolvimento Sustentável E Responsabilidade Social: As Contribuições Da Engenharia De Produção. Bento Gonçalves-Rs, 15 A 18 De Outubro De 2012.
- [22] Peinado, J.; Graeml, A.R. Administração Da Produção (Operações Industriais E De Serviços). Curitiba: [S.N.], 2004.
- [23] Peroni, W. J. Manual De Tempos E Movimentos. 2 Ed. Rio De Janeiro: Apex 1985.
- [24] Ribeiro, M.A. Automação Industrial. 4.Ed. Salvador, Tek Treinamento E Consultoria Ltda, Salvador, 1999. Disponível Em: https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdf/library/02_Livro_De_Automacao_Industrial.Pdf. Acesso Em: 01 Abr. 2024.
- [25] Rocha, R.G. Importância Da Automação No Processo Industrial. 2022. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação Em Engenharia Elétrica) – Faculdade Pitágoras, Ipatinga, 2022.
- [26] Roggia, L.; Fuentes, R.C. Automação Industrial. Universidade Federal De Santa Maria, Colégio Técnico Industrial De Santa Maria, Rede E-Tec Brasil, Santa Maria-Rs, 2016. Disponível Em:
- [27]

- https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/06_Automacao_Industrial.Pdf. Acesso Em: 05 Abr. 2024.
- [28] Rother, M. Toyota Kata: Gerenciando Pessoas Para Melhoria, Adaptabilidade E Resultados. São Paulo: Bookman. 2010.
- [29] Santos, K.C.S.; Oliveira, M.M.R.G.; Pedreira, M.M.O. Fechadura Eletrônica De Baixo Custo. Curso Técnico Em Eletrônica. Limeira-Sp, 2023. Disponível Em:
- [30] <https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/14748/1/fechadura%20elet%C3%94nica%20de%20baixo%20custo.pdf>. Acesso Em: 05 Abr. 2024.
- [31] Silva, A.P. Experimentos Com O Arduino® Nas Aulas De Física. Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, Centro De Ciências Exatas E Naturais Departamento De Ciências Naturais, Matemática E Estatística, Mestrado Nacional Profissional Em Ensino De Física. Mossoró-Rn, Dezembro De 2018, Disponível Em:
- <https://mnpes.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/94/2019/08/experimentos-com-o-arduino%20e-nas-aulas-de-f%C3%8dsica.pdf>. Acesso Em: 05 Abr. 2024.
- [32] Silva, D.S.; Nascimento, J.M.A. Automação Industrial. Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte - Ufrn - Redes Para Automação Industrial – Dca2401/Maio De 2003. Disponível Em:
- https://www.dca.ufrn.br/~affonso/ftp/dca447/trabalho1/traba_lho1_4.pdf. Acesso Em: 01 Abr. 2024.
- [33] Souza, A.R.; Paixão, A.C.; Uzêda, D.D.; Dias, M.A.; Duarte, S.; Amorim, H.S.
- [34] A Placa Arduino: Uma Opção De Baixo Custo Para Experiências De Física Assistidas Pelo Pc.
- [35] Revista Brasileira De Ensino De Física, V. 33, N. 1, 1702 A 1705(2011).
- [36] Suzuki, K. Gestão De Operações Lean: Metodologias Kaizen Para A Melhoria Contínua, 2010
- [37] Tubino, D.F. Sistemas De Produção: A Produtividade No Chão De Fábrica. Porto Alegre: Bookman, 1999.
- [38] Vergara, S.C. Projetos E Relatórios De Pesquisa Em Administração. 6.Ed. São Paulo: Atlas, 2005.