

Desenvolvimento de um equipamento para controlo do stock de SMD

Fábio Daniel Cruz Dias

Dissertação de Mestrado

Orientador (FEUP): Prof. Doutor Joaquim Gabriel Magalhães Mendes

Coorientador (CeNTI): Eng. Hugo Costa



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Especialização em Automação**

Setembro de 2019

Aos meus pais

Resumo

Para o Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes (CeNTI), empresa a que se destina o projeto, reveste-se de especial importância a capacidade de controlo sobre o stock de componentes eletrónicos, isto é, saber em cada instante que produtos e em que quantidades estão disponíveis, para determinar a melhor altura para fazer o reaprovisionamento através de encomendas ao fornecedor.

O objetivo desta dissertação é projetar e construir um equipamento capaz de proceder à contagem e identificação de elementos eletrónicos de uma fita de componentes de montagem superficial (SMD), por forma a que a empresa tenha um controlo mais rigoroso e em tempo real dos componentes em stock. Este mecanismo deverá servir o utilizador de forma prática e rápida, agilizando todos os processos relacionados com o levantamento de componentes deste género de fitas.

A solução implementada assenta num dispensador automático de fita. Este apresenta, na face exposta, díodos emissores de luz (LEDs) para uma rápida localização e, contempla uma gaveta para que se torne possível guardar os componentes eletrónicos que já foram destacados do rolo, permitindo a sua reutilização. O equipamento desenvolvido conta com um sistema automático de deslocamento e corte de fita, que culmina com uma zona onde é feito o depósito do material requerido, a ser posteriormente levantado pelo utilizador. Estas operações são controladas por um Arduino Nano, que recebe as mensagens provenientes da aplicação de interface. Os componentes mecânicos foram produzidos em três dimensões para uma rápida prototipagem do equipamento.

O *software* de interface com o equipamento, desenvolvido em “Visual Studio”, permite ao utilizador adicionar ou editar dispensadores, indicar a adição ou subtração de componentes às respetivas gavetas e elaborar uma lista de componentes a requerer, com base nos integrados disponíveis e respetivo stock. É detalhado o número de elementos elétricos em cada gaveta e bobina, sendo priorizados os itens que se encontram em gaveta.

O trabalho realizado cumpriu todos os requisitos impostos pela empresa: o controlo efetivo do stock, a fácil localização dos componentes em armazém e ainda a criação de um espaço reservado para componentes sobrantes.

Com o desenvolvimento do dispensador acabou por ser concebida uma solução bastante mais automatizada do que se previa inicialmente, agilizando assim todo o processo de manipulação dos componentes em armazém. Este protótipo, foi testado e está já operacional.

Palavras-chave: Controlo de Stock, Dispensador Automático, SMD

Development of an equipment for SMD stock control

Abstract

For CeNTI (Centre for Nanotechnology and Smart Materials) it is particularly important keep under control the available electronic components at each moment, in order to determine the most suitable time for stock replenishment. In addition, now-a-days is time consuming searching for a certain component (in particular the SMD components) among tapes, drawers and bags. The solution has to be easily expandable, and therefore low cost.

The objective of this dissertation is to design and build an automatic tape SMD dispenser. The front of the equipment has LEDs for a fast localization in the warehouse, and it has a drawer to keep electronic components that have been previously detached from the tapes, allowing its reuse. The equipment also has an automatic system for tape cutting, then, it deposits the piece of tape with the required number of components that afterwards will be picked up by the user. The equipment is controlled by an Arduino Nano which receives messages from the application programming interface.

The software interface was built in “Visual Studio”, allowing the user to add or edit dispensers, add or subtract components to the respective drawer, and create a list of components to demand, based on the available type and respective stock. All the information is stored in real-time in a database.

The mechanical structure and several components (e.g. gears) were built using 3D printing to allow a fast prototyping.

The work carried out meet all the requirements imposed by the company: effective stock control, easy location of components and the creation of a space appropriate for spare components. The prototype was tested, and it is already operational.

Keywords: Automatic Dispenser, SMD, Stock Control

Agradecimentos

O apoio, ensinamentos e orientação providenciados por algumas pessoas permitiram a concretização desta dissertação, pelo que pretendo aqui deixar os meus agradecimentos às mesmas.

À minha mãe, Glória, pela sua perseverança, resiliência e carácter demonstrados perante as inúmeras adversidades com as quais se deparou no seu caminho. Obrigado pelo teu apoio. Ao meu Pai, Carlos, pelas palavras de conforto em momentos mais duros.

Ao meu irmão, Francisco, por tudo aquilo que representa para mim como irmão e amigo.

À Catarina, pelo incansável apoio e compreensão que sempre teve para comigo nas horas mais difíceis. Obrigado por estares sempre presente.

Obrigado aos meus amigos mais próximos que sempre se manifestaram disponíveis para discutir questões relacionadas com o meu trabalho, inclusive àqueles com uma área de formação distinta da de Engenharia.

Pretendo expressar os meus sinceros agradecimentos ao Eng.º Joaquim Gabriel pelo seu trabalho de orientação e pela sua disponibilidade e gosto para ensinar sempre mais. A sua habilidade natural para transmitir conhecimento e incentivar o raciocínio são de valor inestimável e despertaram em mim toda a curiosidade e interesse pela eletrónica e automação. As minhas desculpas por nem sempre ter conseguido da melhor forma colocar em prática os conhecimentos que me transmitiu.

Ao Eng.º Hugo Costa pela sua experiência e conhecimentos partilhados que foram fundamentais para a concretização do meu trabalho e tornaram esta etapa mais enriquecedora.

Gostaria também de agradecer ao departamento de “Smart Materials” do CeNTI pela amizade, camaradagem e disponibilidade que demonstraram para discutir comigo tópicos relevantes e de maior interesse para este documento.

Por fim, gostaria de agradecer ao CeNTI pela oportunidade de desenvolver a minha dissertação num ambiente profissional, intimamente ligado aos assuntos abordados nesta última.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	1
1.2	CeNTI	1
1.3	Objetivos do projeto.....	2
1.4	Estrutura da dissertação	2
2	Estado da arte.....	3
2.1	Armazém.....	3
2.2	Armazéns automáticos	4
	Transelevador automático.....	6
	Carrosséis horizontais e verticais.....	8
2.3	Armazenamento de bobinas	9
2.4	Bobinas de SMD	11
3	Proposta de trabalho.....	13
3.1	Apresentação detalhada do problema	13
3.2	Diferentes abordagens.....	14
4	Desenvolvimento do projeto.....	19
4.1	Mecanismo	19
	Localização por LEDs	21
	Tração da fita	22
	Travão mecânico.....	29
	Corte da Fita	31
	Gaveta	35
	Controlo do fim da fita	35
	Elementos complementares	36
	Materiais utilizados na construção do protótipo.....	37
4.2	Controlador	40
4.3	Interface Homem-Máquina	40
4.4	Protocolo de comunicação Arduino – Computador.....	41
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	43
5.1	Conclusões	43
5.2	Trabalhos Futuros	44
6	Referências.....	45
	ANEXO A: Arduino Nano.....	47

ANEXO B:	Peças integradas no equipamento.....	49
ANEXO C:	Motor Passo a Passo.....	53
ANEXO D:	Ambiente de trabalho da Interface em Visual Studio 2017.....	54

Siglas e Acrónimos

ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene

AGV – Automatic Guided Vehicle

CeNTI – Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes

FDM – Fused Deposition Modeling

HDT – Heat Deflection Temperature

HMI – Human Machine Interface

I2C – Inter-Integrated Circuit

PCB – Printed Circuit Board

PLA – Polylactic acid

PLC – Programmable Logic Controller

SMD – Surface-Mounted Device

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

WMS – Warehouse Management System

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Diversidade de funções de um WMS [3].	4
Figura 2.2 – Transelevador trilateral automático.	6
Figura 2.3 - Estrutura do transelevador trilateral automático.	7
Figura 2.4 – Carrossel vertical.	8
Figura 2.5 – Carrossel horizontal	8
Figura 2.6 – ISM UltraFlex 3600	9
Figura 2.7 – Solução de armazenamento, “InvMan-S1”	10
Figura 2.8 - Sinalização luminosa associada aos componentes.	10
Figura 2.9 – Mecanismos de alimentação de uma "Pick-and-Place", a) [12] e b) [13].	11
Figura 3.1 - Dimensões comuns a todas as fitas.	14
Figura 3.2 - Desenho 3D do dispensador de componentes individuais.	15
Figura 3.3 - Esboço em 3D do dispensador de um segmento de fita com componentes	16
Figura 3.4 - Sistema de corte manual da fita	17
Figura 4.1 - Diagrama dos vários elementos que compõem o dispensador	20
Figura 4.2 - Foto dos LEDs de localização integrados no equipamento	21
Figura 4.3 – Esquema elétrico para controlo dos LEDs	22
Figura 4.4 – Mecanismo de tração da fita e respetivo feedback.	23
Figura 4.5 - Circuito testado para controlo do Motor 28BYJ-48	24
Figura 4.6 – Circuito elétrico utilizado para testar o motor de passo ST-PM35-15-11C.	25
Figura 4.7 - Esquema de montagem para testar o motor 17HS08-1004S	26
Figura 4.8 - Elementos geométricos da roda dentada.	27
Figura 4.9 - Representação tridimensional do dente da roda de tração [15].	27
Figura 4.10 - Vista frontal, lateral e lateral em corte do interruptor ótico RPI-0226 [16], dimensões em mm.	28
Figura 4.11 - Esquema elétrico a aplicar	28
Figura 4.12 - Esquema em EAGLE da PCB para o interruptor ótico RPI-0226.	29
Figura 4.13- Curva característica do transístor TIP122 [17].	30
Figura 4.14 – Circuito elétrico de atuação do solenoide	31
Figura 4.15- Teste de corte da fita de cartão	32
Figura 4.16 - Gráfico do ensaio de corte da fita de cartão, com velocidade da lâmina de 10 mm/min.	32
Figura 4.17 - Gráfico do ensaio de corte da fita de cartão, com velocidade da lâmina de 500 mm/min.	32
Figura 4.18- Diagrama de corpo livre da solução articulada de corte	33

Figura 4.19 – Ligações do sensor de fim de curso ao Arduino Nano	35
Figura 4.20 - Montagem do sensor AS7262 ao Arduino Nano	36
Figura 4.21 - Esquema elétrico utilizado para os botões	37
Figura 4.22 - Processo de impressão FDM [19].	38
Figura 4.23 - Aspeto exterior do dispensador	39
Figura 4.24 - Interior do protótipo desenvolvido	39
Figura 4.25 - Esquema de comunicação entre a base de dados, a interface e o dispensador...	41

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Diferentes espessuras de bobina [4]	14
Tabela 2 - Código de cores do equipamento	21
Tabela 3 - Motores Testados	23
Tabela 4 - Comparação de propriedades de PLA e ABS [20].....	38
Tabela 5 - Tipo de fita e respetivo código	42
Tabela 6 - Código de cores usado na comunicação.....	42

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O dia-a-dia empresarial passa muitas vezes pela utilização de materiais em armazém, materiais esses que no caso do CeNTI, empresa a que se destina o projeto, assentam essencialmente em componentes eletrónicos. Para o CeNTI reveste-se de especial importância a capacidade de controlo sobre o stock, isto é, saber em cada instante que produtos e em que quantidades estão disponíveis, para determinar a melhor altura para fazer o reaprovisionamento através de encomendas ao fornecedor.

O facto de se tratar de um trabalho de desenvolvimento de um protótipo a partir do zero foi uma motivação desde o primeiro momento, porque poderia pôr à prova a criatividade e capacidade de projeto. Neste trabalho haveria ainda a possibilidade de integrar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, não só de mecânica e projeto, mas também de eletrónica e de programação.

1.2 CeNTI

O CeNTI – Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes, é um Instituto de Novas Tecnologias de orientação multissetorial, equipado com a mais avançada tecnologia e que desenvolve atividades de investigação, desenvolvimento tecnológico, inovação e engenharia nos domínios dos materiais e sistemas inteligentes e funcionais [1].

A empresa conta com um armazém, no qual de entre os vários tipos de componentes eletrónicos diferenciam-se os de montagem superficial (SMD), que são normalmente fornecidos pelo fabricante em bobinas de modo a poderem ser montadas nos circuitos. Já os restantes componentes estão dispostos individualmente e são agrupados em sacos de reduzidas dimensões.

O centro faz o armazenamento dos diferentes componentes em dezenas de caixas, dividindo-os por categorias. Na prática isto implica que, cada vez que são necessários componentes eletrónicos, o utilizador seja chamado a procurar os componentes requeridos nas respetivas caixas, no meio de centenas de sacos. Como consequência vem, inevitavelmente, a perda de tempo na procura de cada elemento e o deficiente controlo do inventário.

Urge, portanto, a necessidade de desenvolver uma solução que consiga dar resposta a este problema.

1.3 Objetivos do projeto

Com este trabalho pretende-se agilizar o processo de armazenamento e levantamento dos componentes eletrónicos a utilizar nos vários projetos empresariais, bem como controlar de forma efetiva o stock.

Assim, o objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de um equipamento semiautomático orientado para os circuitos integrados SMD fornecidos em bobinas, capaz de disponibilizar o número de componentes requeridos, definidos numa aplicação remota. Sempre que são adquiridos componentes, a informação será adicionada a uma base de dados que permitirá gerir de modo eficaz o stock disponível.

Para o efeito foram definidas as seguintes tarefas:

- a) Levantamento do estado da arte de mecanismos de armazenamento e controlo automático de material em stock;
- b) Análise dos requisitos da aplicação em articulação com o CeNTI;
- c) Apresentação e avaliação prévia das possíveis soluções;
- d) Projeto detalhado da solução. Desenvolvimento de um modelo 3D em computador, e aquisição dos constituintes necessários;
- e) Fabrico dos componentes estruturais por impressão 3D;
- f) Programação do controlador local (microcontrolador) e do computador remoto;
- g) Integração dos componentes e teste da solução.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação, para além deste capítulo introdutório contempla quatro capítulos adicionais.

No capítulo 2, é abordado o estado da arte da armazenagem automática, as suas vantagens, desvantagens e ainda as alternativas vigentes de armazenagem de bobinas de componentes SMD.

O capítulo 3 visa de forma mais detalhada o problema proposto, bem como as várias abordagens consideradas para a sua solução.

No capítulo 4 são versados os vários sistemas integrantes do dispensador, o seu microcontrolador, respetivo código e ainda a interface em computador.

Por último, no capítulo 5 expõem-se as conclusões do trabalho realizado, assim como sugestões de trabalhos futuros de modo a aprimorar o equipamento desenvolvido.

2 Estado da arte

Neste capítulo será abordado o estado da arte dos processos de gestão e armazenamento de produtos. Haverá ainda espaço para uma descrição, pormenorizada, de automatismos implementados em armazéns, ditos automáticos, que facilitam e agilizam o sistema de receção, rastreamento e envio ou utilização de materiais.

Num registo direcionado para os rolos de SMD, serão descritas algumas das soluções mais recentes de armazenamento e controlo de stock, e será abordado o processo a que, normalmente estas bobinas se destinam.

2.1 Armazém

Os armazéns e a respetiva gestão têm um impacto primordial na eficiência das operações realizadas e por consequência na cadeia de valor de uma organização. Objetivamente, os armazéns criam uma almofada entre a procura e a oferta, reduzem os custos relativos ao transporte de mercadoria, armazenam produto dos fornecedores e dão uma resposta mais rápida [2].

Nesta constante batalha pela otimização é inevitável a utilização de um sistema de gestão de armazém. Vulgarmente denominados de Warehouse Management System (WMS), estes sistemas de gestão contam com uma base de dados estruturada que engloba todos os artigos e a sua respetiva localização no armazém e ainda equipamentos portáteis munidos de tecnologia de comunicações sem fio e leitores óticos que permite fazer a identificação de um produto em qualquer etapa ou momento. A Figura 2.1 esquematiza as múltiplas funcionalidades que um sistema deste género pode conter. Estas variam de organização para organização, consoante as suas necessidades específicas.

A localização de cada item é facilmente identificada em qualquer fase do seu processo, iniciando-se desde logo na sua entrada em armazém, onde é feita a leitura ótica que providencia informações detalhadas como o seu historial, validade ou peso. É neste momento que o artigo se encontra disponível no sistema e pode ser arrumado na área que lhe foi destinada. Qualquer alteração relativa ao produto como a sua recolha, ou o reposicionamento pressupõe sempre uma leitura do código de destino, assegurando assim a rastreabilidade do mesmo.

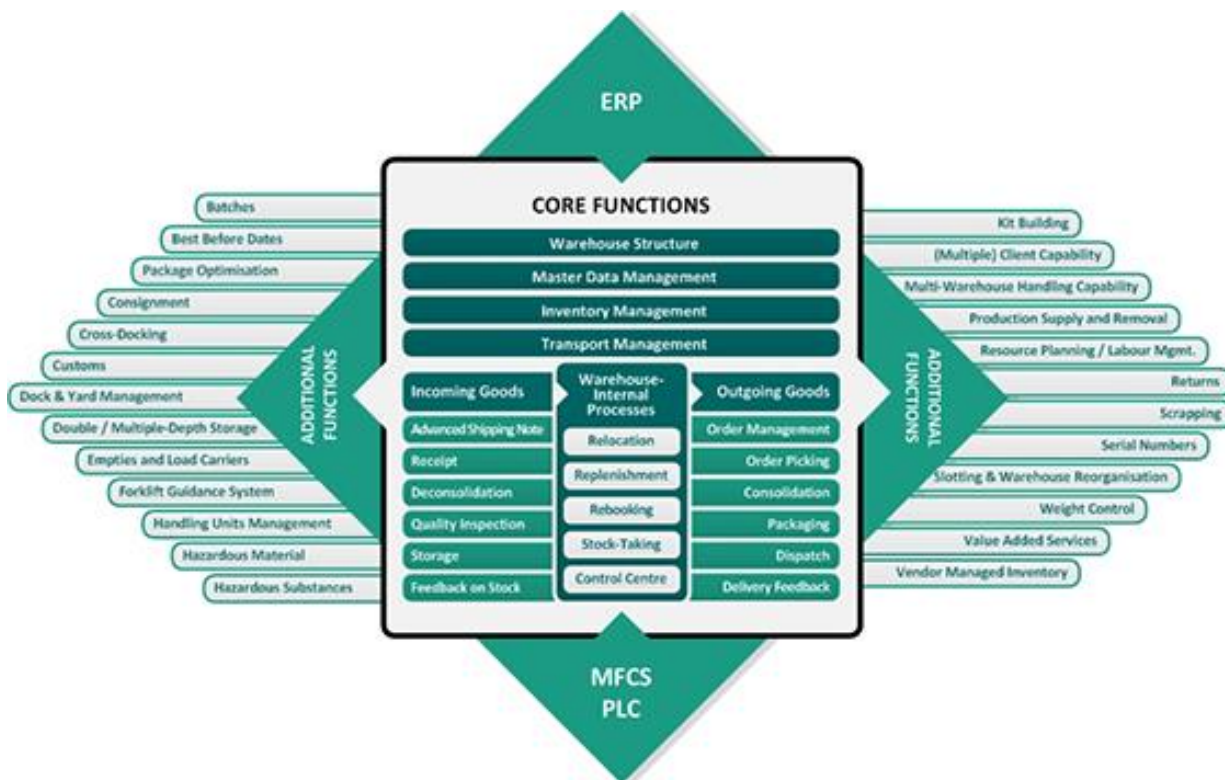


Figura 2.1 – Diversidade de funções de um WMS [3].

Estes sistemas de gestão possuem a vantagem de executar inventários em tempo real, evitando assim as paralisações destinadas a inventários anuais que podem durar vários dias.

Outros dos benefícios de um WMS são as ferramentas de análise, como relatórios estatísticos de fluxos, e a emissão de alertas relativos aos níveis de stock, desde a sua rutura a datas limite de armazenamento, facilitando assim a tarefa de reaprovisionamento.

O trabalho dos operadores é assim simplificado e os erros de registos diminuem significativamente [4].

Nas indústrias é fundamental uma boa organização ao nível do stock, quer de matérias primas, quer de produto acabado de forma a aumentar a eficiência na produção e rentabilizar o tempo de expedição dos produtos. Para responder a esta exigência surgiram os armazéns automáticos.

2.2 Armazéns automáticos

Numa conjuntura económico-empresarial de gestão de armazéns competitiva e globalizada, os armazéns automáticos têm vindo a aumentar a sua preponderância. Aspetos como a agilização de processos e redução de custos são algumas das muitas características que estão na base deste destaque [5].

A automatização de um armazém é uma das formas mais eficazes de impulsionar o retorno sobre o investimento pela redução do número de trabalhadores e aumento da precisão

e da eficiência. Segundo a revista *Supply Chain Management Review*, a automação de armazéns é uma das últimas áreas onde os custos a longo prazo podem ser reduzidos significativamente.

Automatizar por completo um armazém envolve diversas operações suportadas por software de gestão, desde a aquisição automática de dados, armazenamento e recuperação, entre tantas outras. Essencialmente, a automação passa por substituir tarefas repetitivas, que são orientadas a processos, demoradas e suscetíveis a erros, por mecanismos autónomos. Estando os armazéns repletos deste género de operações nos mais variados processos, há muitos aspetos que podem ser automatizados, incluindo [6]:

- Separação e preparação de pedidos: este é um exemplo claro de um processo repetitivo e demorado. Os sistemas de prateleiras modulares combinados com robótica de armazém permitem automatizar este processo, que antes recaía sobre os trabalhadores acabando por deixar o processo vulnerável ao erro humano.
- Identificação dos artigos: os armazéns dependem muito da documentação para conseguirem acompanhar o destino, localização e o inventário dos vários itens. A automatização deste processo, assente em etiquetas de códigos de barras, quer no produto, quer nas prateleiras, e no hardware necessário à sua leitura ótica, economiza muitas de horas de trabalho, elimina praticamente os erros de identificação e ainda acelera drasticamente o processo de documentação.
- Transporte no armazém: Equipamentos tradicionais como empilhadores e porta-paletes são normalmente utilizados para transportar mercadorias dentro de um armazém, mas até mesmo esta realidade vem sendo alterada com o aparecimento dos veículos autónomos (AGV). Estes transportadores deslocam-se autonomamente nas plantas fabris com o objetivo de desempenhar as funções de carga e descarga, pelo que não necessitam qualquer operador. Esta tecnologia, além de poder ser implementada sem que seja necessária uma reformulação do armazém, pode também ser introduzida gradualmente pela compra individualizada dos veículos diluindo assim o investimento no tempo.
- Inventário: automatizar o processo de gestão de inventários é uma das estratégias mais fáceis e económicas de ser implementadas, pondo fim a erros relacionados com transcrição de dados e as demoras na contagem / identificação.
- Gestão: a gestão de dados baseada em sistemas digitais, WMS, permite um acesso em tempo real a todas as informações do armazém, facilitando assim operações como o reaprovisionamento, evitando ruturas de stock.

A automatização de um armazém vem revolucionar a forma como o trabalho de cada setor é cumprido, destacando-se inúmeros benefícios[5]:

- A redução de erros, inerentes ao operador – Erros na fase de separação e preparação de pedidos, por exemplo, geralmente significam erros de envio, erros estes que têm impacto direto no grau de satisfação do cliente tendo implicação direta na reputação da marca [7].
- O aumento da velocidade de expedição – A velocidade é aumentada em inúmeros processos, desde a identificação, praticamente instantânea, dos locais de todos os artigos, à otimização das rotas e maximização da produtividade durante o processo de recolha dos produtos, passando ainda por um atendimento de pedidos mais rápido, quando este é auxiliado por robôs e transportadores e, por fim, acelera o processo de gestão de inventário com uma contagem em tempo real e automática dos itens.
- Maximização do espaço – Aumento da capacidade de armazenagem, resultante de uma melhor utilização do espaço disponível [8]. A utilização de AGVs e outros veículos automatizados aos quais podemos juntar os elevadores e tapetes rolantes que fazem a

recolha e armazenamento do produto reduzem a necessidade de corredores largos, normalmente associados a máquinas de maior porte conduzidas por trabalhadores.

- Possibilidade de adequar-se a condições de trabalho especiais, como temperaturas adversas ou humidade extrema.
- Melhor contagem de inventário – Controlo total de inventários, melhoria na gestão de stocks [8].
- Melhora a segurança – Segurança de funcionamento em ambientes adversos com por exemplo entrepostos frigoríficos e manipulação de produtos químicos [8]. Muitos sistemas de automação de armazém trazem os produtos até ao operador, em vez de ser o trabalhador a ir até aos produtos. Como resultado, o tráfego de pedestres e equipamentos em toda a instalação é reduzido, aumentando também aí a segurança geral do armazém.

Como inconvenientes podemos apontar o investimento inicial e a adaptação do armazém e respetivos operadores à nova realidade.

Seguidamente são apresentados alguns sistemas comerciais disponíveis para a execução de um armazém automático.

Transelevador automático

O transelevador é um sistema de armazenamento automático implementado em armazéns e que os modifica de forma rápida e económica. Este mecanismo agrega a vantagem de não modificar a estrutura do armazém, adaptando-se facilmente às necessidades de cada um deles, quanto à capacidade de carga, dimensões, altura de construção e tempos de ciclo, pelo que cobre um vasto leque de aplicações. Este sistema, através de um software de gestão, recebe a carga num determinado ponto, e tem a capacidade de a transportar longitudinalmente e em altura, ao longo dos corredores.

Um exemplo deste género de mecanismo é o transelevador trilateral automático da “MECALUX”, ilustrado na Figura 2.2.

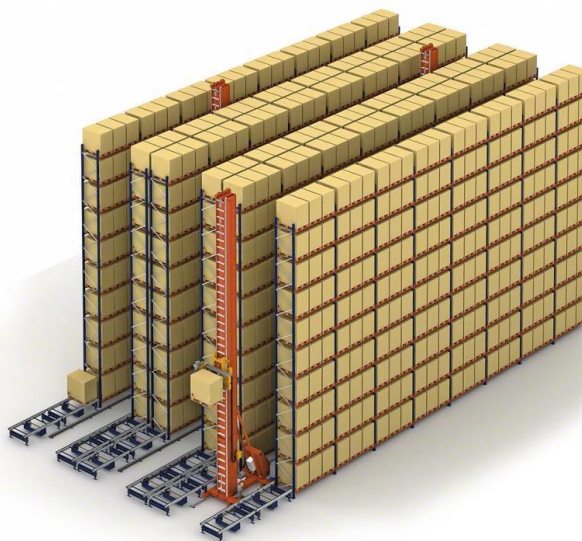
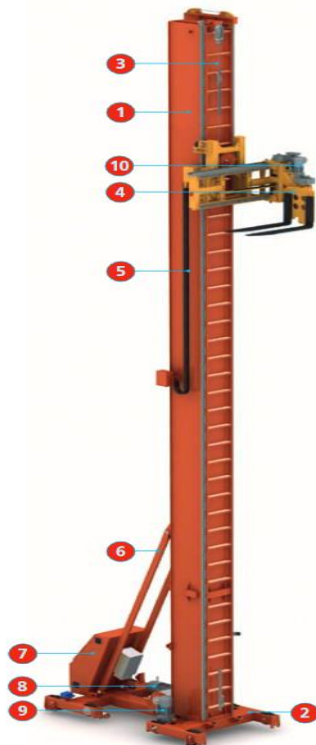


Figura 2.2 – Transelevador trilateral automático

Esta solução congrega numerosas vantagens, tais como [9]:

- Capacidade de adaptação a qualquer armazém de paletes onde operem empilhadores manuseados por um operário.
- Automatização económica. O investimento amortiza-se rapidamente.
- Implementação simples, tanto em armazéns novos como em pré-existentes, dado que não é necessário modificar a estrutura do armazém.
- Diminuição dos custos com o pessoal, permite a gestão de todos os movimentos das paletes sem operador a bordo.
- Aproveitamento de todas as localizações dado que não tem calha superior e recolhe as paletes a partir da cota zero.
- Redução de erros pelo facto de se tratar de um sistema automático.
- Melhoria da segurança na instalação. Os operários não trabalham dentro dos corredores, pelo que o sistema é mais seguro e diminui o risco de acidentes.
- Baixo custo de manutenção.
- Fácil integração do sistema automático com ligação a um sistema de gestão de armazéns.

O transelevador divide-se essencialmente em 3 partes, a estrutura inferior que suporta o conjunto e o puxa longitudinalmente, a coluna que permite o acesso a diferentes alturas e o elemento extrator que consiste numa forquilha trilateral movida mediante um terminal que se pode deslocar para a esquerda, para a direita ou frontalmente para aceder à carga. A sua estrutura está representada na Figura 2.3.



Componentes básicos

1. Coluna
2. Estrutura inferior
3. Cabo de elevação
4. Extrator trilateral
5. Correia porta-cabos
6. Tirante
7. Quadro elétrico
8. Motor de elevação
9. Motor de translação
10. Motor de extração

Figura 2.3 - Estrutura do transelevador trilateral automático

Este mecanismo automático é guiado por dois carris e tem quatro pontos de apoio sobre o chão, não tem estrutura superior, o que facilita a sua instalação em qualquer armazém que utiliza empilhadores. Além disso, adapta-se a quase todos os espaços de acesso direto a paletes.

Carrosséis horizontais e verticais

O carrossel é outro exemplo de armazenamento automático de elevada densidade, muito utilizado nos ambientes de produção e distribuição.

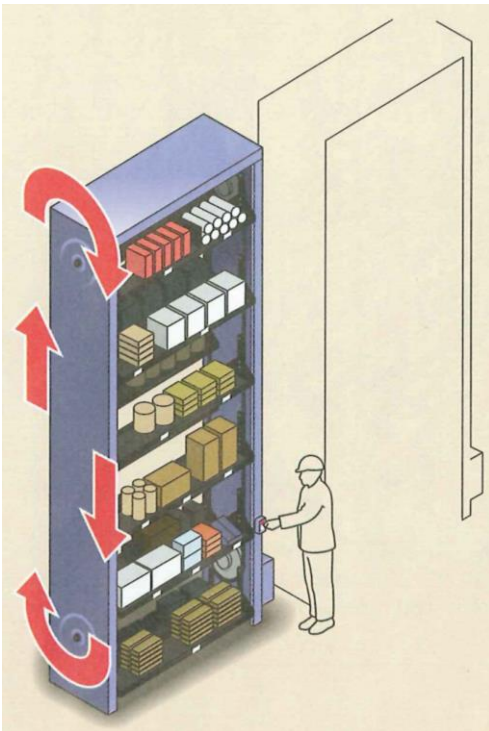


Figura 2.4 – Carrossel vertical

A Figura 2.4 ilustra um carrossel vertical que pode atingir alturas elevadas, reunindo assim grande densidade vertical e separação numa pequena área.

Neste mecanismo toda a unidade roda elipticamente para assim apresentar a prateleira correta ao operador.

Este sistema tem algumas limitações de projeto nomeadamente quando aplicado em artigos pesados. De facto, como toda a unidade girar, as peças devem ser armazenadas de forma uniforme com o objetivo de evitar desequilíbrios. Derivado a esse aspeto esta solução é utilizada maioritariamente em produtos leves, como componentes para a indústria eletrónica.

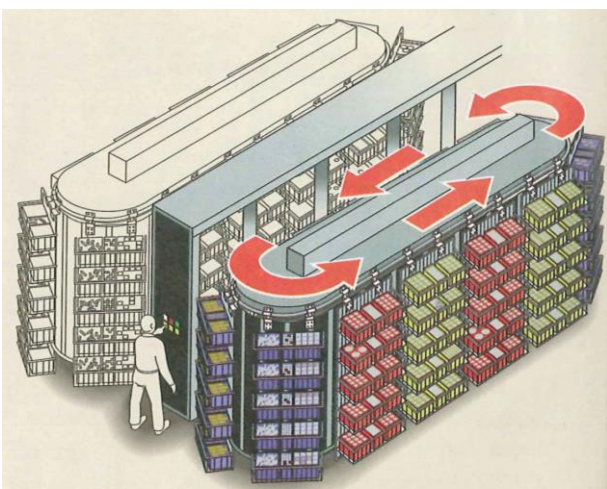


Figura 2.5 – Carrossel horizontal

Na Figura 2.5 encontra-se representado um carrossel horizontal. Este mecanismo consiste num movimento horizontal de uma série de caixas ou transportadores à volta de uma calha. O operador entra com as informações da requisição no respetivo software de gestão e este carrossel, um pouco à semelhança do carrossel vertical, roda até que a caixa correta se encontre na estação do operador.

Este tipo de tecnologias pode economizar até 85% do espaço de chão de armazém quando comparado com o armazenamento convencional; reduz até 66% do tempo associado à procura dos artigos, visto que os itens se movimentam até ao operador e ainda promove o bem-estar do operador, dado que as peças, no caso do carrossel vertical são entregues ao operador a uma altura ideal, o que reduz o risco de lesões associadas à curvatura do corpo [10].

2.3 Armazenamento de bobinas

Empresas, como a CeNTI, que utilizam componentes de montagem superficial inseridos, muitas das vezes, em bobinas, têm necessidades especiais no que toca ao armazenamento e localização das mesmas.

No que diz respeito ao armazenamento rastreado de bobinas estão no mercado algumas soluções, de entre as quais se destacam:

- Armazenamento automatizado;
- Armazenamento manual em alocações rastreáveis.

Estas soluções permitem ao utilizador recolher ou guardar de forma eficiente as bobinas de componentes que necessita, com a particularidade do sistema saber exatamente o inventário disponível e aquele que está a ser utilizado.

A Figura 2.6 ilustra um exemplo, em comercialização, de um armazém automático para bobinas de SMD, o **“ISM ULTRAFLEX 3600”**.



Figura 2.6 – ISM UltraFlex 3600

Capaz de armazenar até 3624 bobinas, este modelo liberta o operador do trabalho de procurar os vários componentes que precisa, tudo o que terá que fazer é indicar no software o que necessita e o equipamento fará o respetivo levantamento. Este modelo pode dispensar até 54 bobinas de uma só vez, quando o processo estiver concluído resta apenas ao utilizador proceder ao transporte dos materiais requeridos. No momento de efetuar o armazenamento, necessita apenas que os vários rolos sejam colocados na zona de carga e a máquina incumbir-se-á do seu reconhecimento e acondicionamento. Este processo de recolha e armazenamento de bobinas tem por base um robô cartesiano de elevada precisão, que conta ainda com uma garra associada a uma plataforma de transporte dos componentes. Este transfere os rolos da mesa de depósito para as várias alocações e vice-versa. De frisar que este produto cria um ambiente interno propício à arrumação de componentes eletrónicos com o controlo da humidade relativa do ar, mantendo-a abaixo dos 5% [11].

A este sistema pode ainda ser articulado um AGV para proceder ao transporte das bobinas do armazém até ao local de utilização e inversamente.

Uma solução mais económica, mas menos automatizada, é o armazenamento manual em alocações rastreáveis, ilustrada na Figura 2.7 e pormenorizada na Figura 2.8.



Figura 2.7 – Solução de armazenamento, “InvMan-S1”

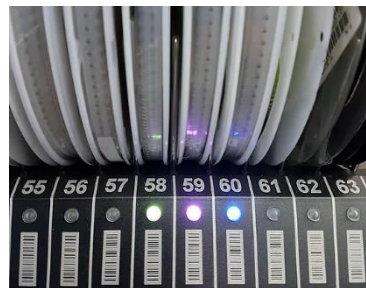


Figura 2.8 - Sinalização luminosa associada aos componentes

Este sistema permite rastrear todos os componentes armazenados. O seu registo é feito no armazenamento através do código de barras e associando-os a uma determinada posição na estante. Conta ainda com um LED em cada uma das divisões alocaíveis que agiliza o processo de localização e permite ao utilizador controlar o seu inventário.

2.4 Bobinas de SMD

As bobinas de componentes para montagem superficiais são fornecidas com dimensões distintas consoante o tamanho e a forma dos elementos nelas contidos. Estes rolos de componentes são geralmente utilizados em máquinas robotizadas que fazem a montagem dos vários elementos num circuito impresso, comumente designadas de “Pick-and-Place”.

Os elementos eletrónicos estão alocados em pequenas cavidades igualmente espaçadas ao longo da fita, esta fita é revestida na parte superior (lado que contém a abertura das cavidades) por um plástico que mantém os componentes acoplados à fita. Este último deverá ser retirado previamente para que o robô possa proceder à montagem das placas de circuitos.

Para uma correta inserção dos componentes, provenientes das bobinas, neste género de maquinaria existem inúmeros mecanismos em comercialização associados às várias marcas de distribuição, como os ilustrados na Figura 2.9. Estes engenhos fornecem o componente contido na fita com uma elevada precisão de forma a minimizar os erros na construção das várias placas de circuitos impressos.

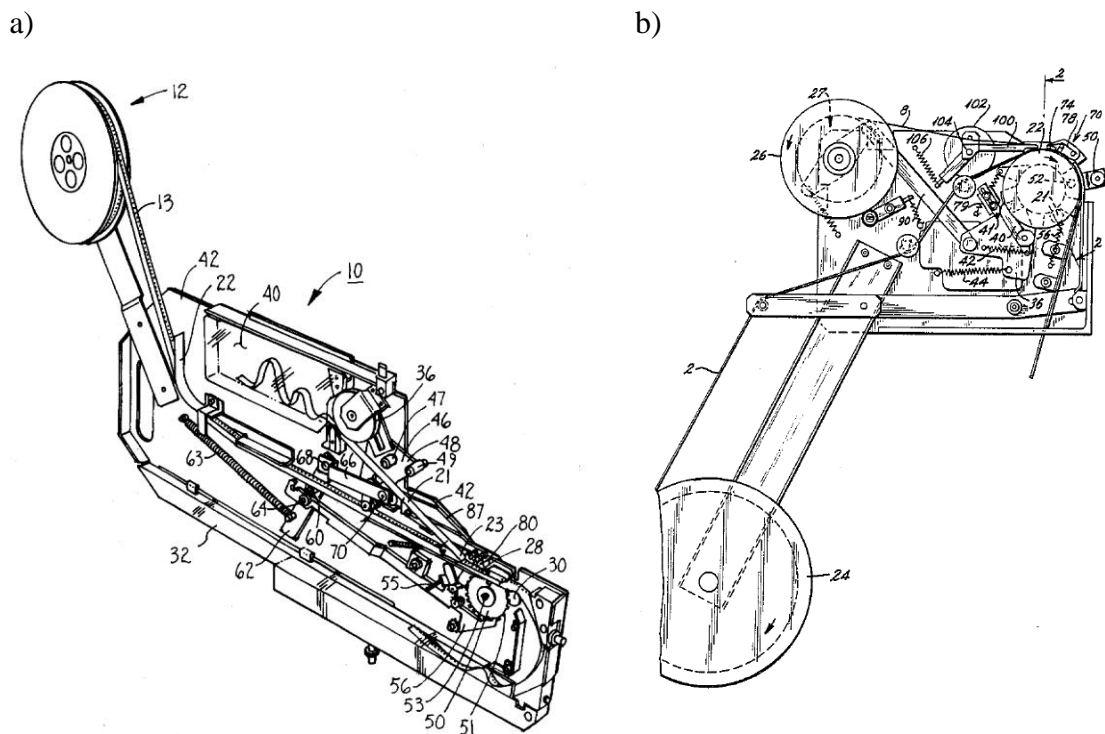


Figura 2.9 – Mecanismos de alimentação de uma "Pick-and-Place", a) [12] e b) [13].

3 Proposta de trabalho

Pretende-se desenvolver e construir um equipamento capaz de proceder à contagem e identificação de elementos eletrónicos de uma fita de SMD, por forma a que a empresa tenha um controlo mais rigoroso e em tempo real dos componentes em stock. Este equipamento deverá servir o utilizador de forma prática e rápida, agilizando todos os processos relacionados com o levantamento de componentes deste género de fitas, devendo ainda cumprir uma série de requisitos impostos.

3.1 Apresentação detalhada do problema

Os componentes eletrónicos de montagem superficial são normalmente fornecidos pelo fabricante em bobinas. A disposição dos componentes e o seu formato está padronizado de forma a serem utilizados por uma máquina de montagem automática de componentes, vulgarmente denominada “pick-and-place”. Apesar de serem projetados para este fim, a empresa emprega maioritariamente uma montagem manual deste género de componentes por se tratarem, normalmente, de situações em que o investigador apenas necessita de fabricar uma única placa. Este tipo de trabalho associado à preparação dos integrantes para uma montagem automática, não traria benefícios do ponto de vista da economia de tempo.

Cada operador que faça montagem manual em PCB, ou que utilize componentes de montagem superficial depara-se diariamente com uma busca pelas várias bobinas de SMD de que necessitam, de forma a obterem todos os elementos indispensáveis ao desenvolvimento dos seus projetos. A isto, junta-se ainda o corte da fita com o número de componentes necessários e posterior ajuste manual do inventário em armazém. Todo este processo que precede a utilização dos elementos eletrónicos, pode tornar-se demorado visto que o CeNTI tem mais de 200 referências diferentes, o que dificulta o processo de procura e gestão manual do stock.

As bobinas e respetivas fitas de SMD variam as suas dimensões e tipo de material consoante os componentes que alojam. O diâmetro dos rolos, independentemente da espessura da fita, apresenta duas medidas possíveis: 180 e 330 mm. Todos os rolos contam ainda com um furo concêntrico de 13 mm de diâmetro, já a espessura dos mesmos é proporcional à largura das fitas. A Tabela 1 apresenta essa proporcionalidade.

Tabela 1 - Diferentes espessuras de bobina [4]

Largura da fita [mm]	8	12	16	24	32
Espessura do rolo [mm]	11,4	15,4	19,4	27,4	35,4

A solução a implementar terá, por isso, que conseguir dar resposta a todas estas medidas com vista a englobar qualquer bobina adquirida pela empresa.

Olhando mais perto, as cavidades das fitas de SMD denotam uma concordância dimensional com o componente que transportam. Assim, observa-se uma periodicidade de componentes de 2 em 2, 4 em 4, 8 em 8, 12 em 12 e 16 em 16 mm, ao passo que os furos, de 1,5 mm de diâmetro, se encontram igualmente espaçados de 4 mm entre os centros, qualquer que seja o tipo de fita, como ilustra a Figura 3.1.

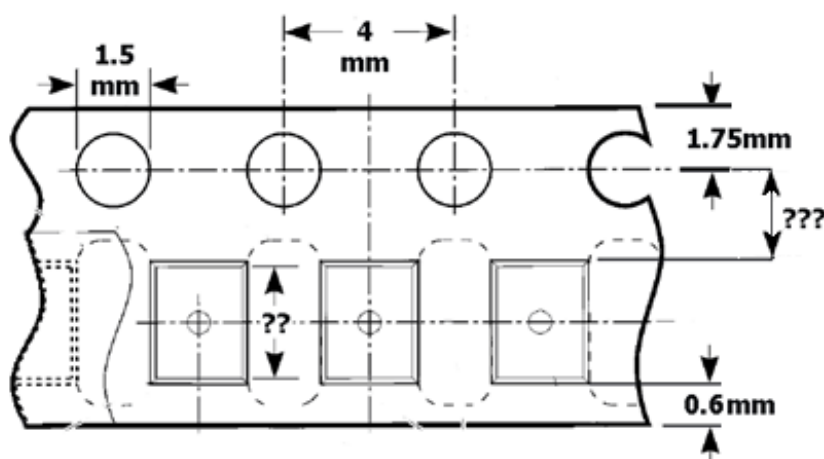


Figura 3.1 - Dimensões comuns a todas as fitas

As fitas contam ainda com um revestimento plástico na superfície superior com a finalidade de isolar os componentes do meio envolvente, preservando assim a integridade e a durabilidade dos mesmos.

Tendo em conta as características de utilização e ainda os vários formatos das fitas, deverá ser criada uma solução que permita ao utilizador uma busca rápida dos componentes e ainda uma gestão automatizada dos elementos em inventário.

É ainda necessário que o equipamento contemple um espaço destinado a componentes que foram requisitados pelo utilizador e que não foram utilizados, possibilitando o seu aproveitamento futuro.

3.2 Diferentes abordagens

Face ao problema exposto, foi desde logo detalhado que a solução estaria numa disposição vertical dos vários equipamentos a desenvolver. Sendo assim, a estrutura final tomara a forma de uma “biblioteca de bobinas” podendo, em última instância, os modelos desenvolvidos assentar mesmo numa estante.

Ainda numa fase de enquadramento no projeto, foi pensada uma abordagem mais simples, em que o equipamento a ser criado procederia à localização em armazém das bobinas requeridas e o mecanismo montado identificaria o número de componentes retirados, fazendo automaticamente a sua atualização na base de dados. Este modelo contaria ainda com uma gaveta para guardar componentes que, tendo sido requeridos, não foram efetivamente utilizados. Esta solução, apesar de prática, foi mais tarde posta de parte, com o aparecimento de abordagens mais automatizadas e que acumulavam, além das características acima destacadas, o facto de apresentarem ao utilizador a quantidade necessária já destacada do resto da fita.

Apontando para um dispositivo mais autónomo, emergiram duas alternativas distintas nas condições como o componente chega ao utilizador:

- a) Dispensador de componentes individuais, já prontos a utilizar, em que o plástico que protege os mesmos é retirado.

Esta solução, Figura 3.2, consiste em tracionar a fita, usando um motor passo a passo, fazendo a mesma passar por uma zona em que o plástico é retirado componente a componente (puxado para um rolo por meio de um motor). Sempre que o plástico de um elemento é retirado, o mesmo é destacado da fita com o auxílio de um solenoide, movimento que empurra o material requerido para a zona de dispensa. Para garantir que a fita não é danificada, este modelo utilizaria uma chapa, furada com as dimensões do componente, onde passaria a fita e se daria a separação do revestimento de plástico. É também nesta zona em que se soltaria da fita o item a dispensar. Este dispensador conta também, além dos LED informativos e de localização em armazém, com uma gaveta para armazenagem de elementos elétricos que, após dispensa, não foram utilizados.

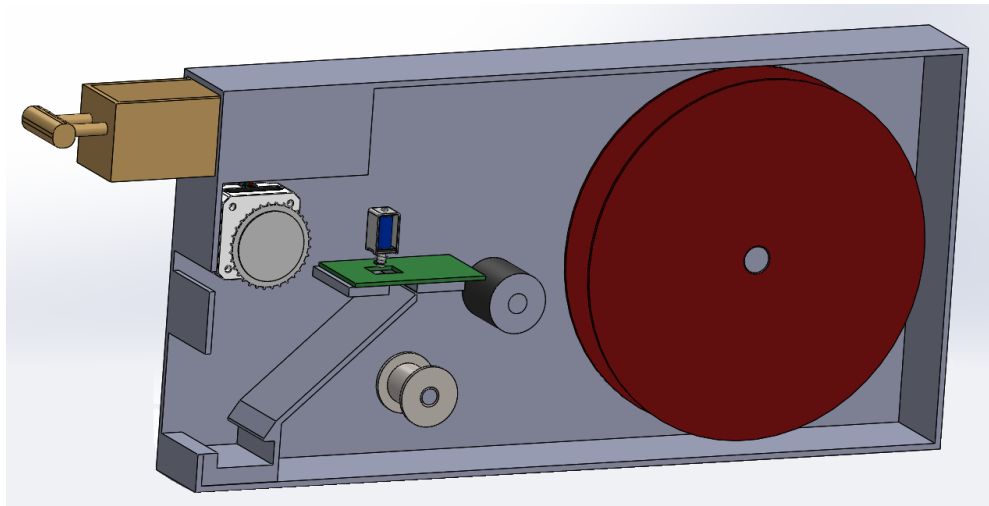


Figura 3.2 - Desenho 3D do dispensador de componentes individuais

Como vantagens deste modelo podemos apontar que o operador recebe o componente pronto a ser utilizado e que a possível falta de precisão do mecanismo não implica a danificação dos componentes.

O facto da sua recolha e respetivo transporte, da zona do dispensador até à de aplicação do componente, serem pouco práticas, o próprio dispensador acumular fita já vazia e ainda os componentes estarem sujeitos desde logo a eletricidade estática, por se encontrarem desprotegidos, mostraram-se desvantagens cruciais e que levaram à eliminação desta solução.

b) Dispensador de fita com o número de componentes requeridos ainda revestidos.

A abordagem selecionada pela empresa como sendo a ideal, Figura 3.3, consiste no corte da fita com o número de componentes solicitados pelo utilizador. Esta ideia consiste na tração da fita bobinada, por ação de um motor passo a passo, para a zona onde se processa o corte. Esta tração terá que ser extremamente precisa, dado o espaçamento reduzido dos elementos elétricos em fita, de modo a cortar a mesma sem danificar qualquer componente. Este protótipo contará ainda com uma guia para a fita e um travão nela embutido, que libertará o motor de forças resultantes do corte da mesma. O corte será feito por meio de um servomotor, contando com uma articulação entre o braço do motor e o suporte da guilhotina, sendo este último guiado de forma a converter o movimento de rotação do servomecanismo numa força vertical de corte. De referir que este exemplar conta também com LED de localização e informação e com uma gaveta de armazenagem de elementos sobrantes.

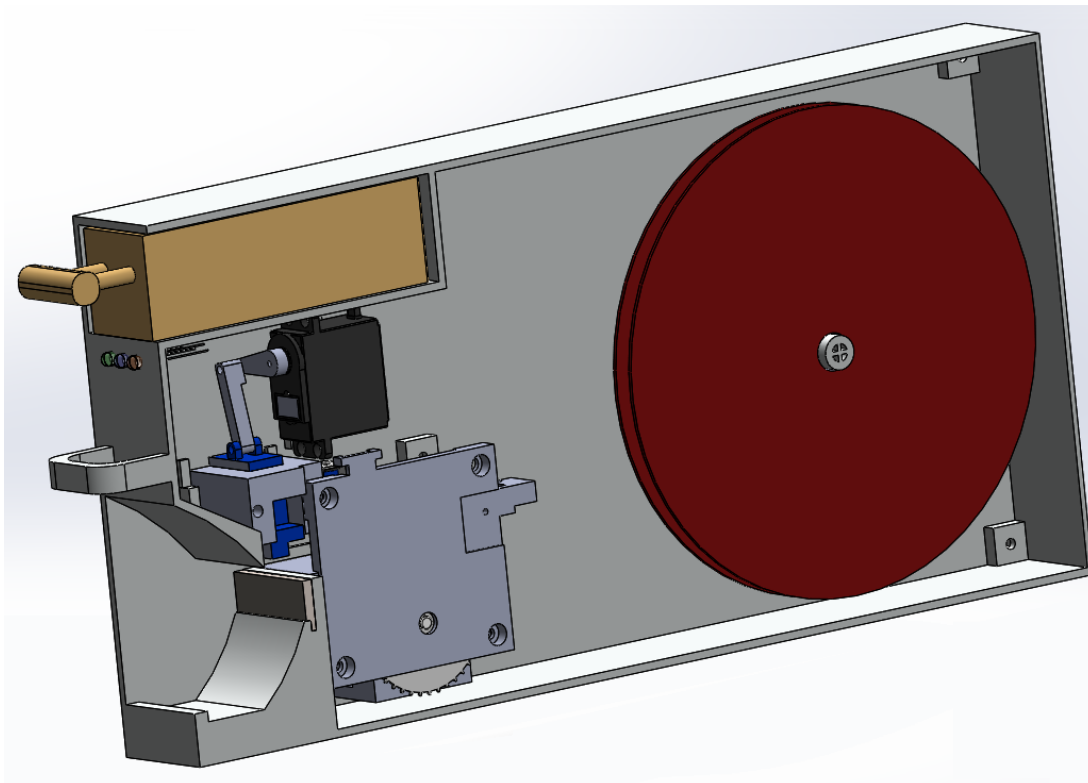


Figura 3.3 - Esboço em 3D do dispensador de um segmento de fita com componentes

Como vantagens deste modelo podemos apontar o fácil transporte dos vários tipos de componentes requeridos, a ação de dispensa de componentes não resultar em material excedentário no dispensador e os elementos dispensados estarem ainda revestidos o que, por um lado, os protege e, por outro, caso não sejam usados, podem ser armazenados ainda revestidos.

Como desvantagem temos a possível danificação do item, na fase de corte, caso o mecanismo não apresente a precisão esperada. Ainda assim o CeNTI aceitou esse risco e foi projetada esta com sendo ideia a conceber.

Numa abordagem menos automatizada desta solução, o equipamento procederia à tração da fita enquanto o utilizador seria chamado a fazer o corte manual da mesma. A Figura 3.4 ilustra o mecanismo de corte manual.

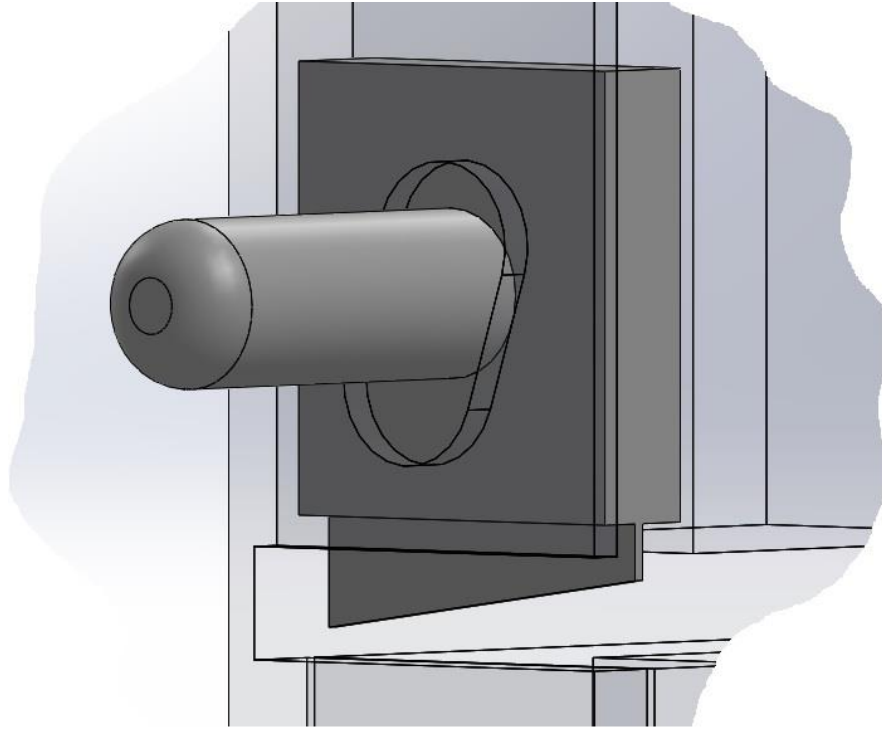


Figura 3.4 - Sistema de corte manual da fita

Esta solução de guilhotina vertical assenta ainda num sistema de molas na parte superior que leva ao seu recuo mecânico de forma a permitir a passagem da fita.

A grande vantagem desta opção reside na redução do custo de produção do sistema, pois serve-se do utilizador para executar o corte, dispensando assim o servomotor. Como desvantagens, podemos apontar a necessidade de o utilizador ter de proceder ao corte de cada fita de componentes que pretende empregar. Tendo como premissa expressa pela empresa o interesse em que o mecanismo fosse o mais automático possível, esta alternativa acabou por ser abandonada.

4 Desenvolvimento do projeto

A conceção de um equipamento, capaz de satisfazer as necessidades de manipulação dos componentes elétricos em inventário, pressupõe várias etapas até à obtenção do produto final. Este processo segue uma ordem lógica de idealização e construção estando sempre sujeito a alterações, com vista a solucionar os vários obstáculos encontrados.

Por forma a facilitar a sua organização, o projeto está dividido em três áreas distintas, mas intimamente relacionadas, a parte mecânica e respetiva eletrónica, o correspondente *Firmware* do microcontrolador para comando de motores, sensores e atuadores e por fim a comunicação dos vários equipamentos com o sistema de interface e criação do respetivo protocolo.

4.1 Mecanismo

A criação de um protótipo que preencha os requisitos de utilização, seja funcional e economicamente viável pressupõe inúmeras etapas, começando desde logo pela idealização de diversas soluções. Estas diferentes abordagens distinguem-se pelo grau de automatização apresentado e ainda pela forma como o utilizador recebe os componentes a usar. Apesar dessas divergências, há partes do mecanismo que se repetem nas várias propostas: a forma de obter a localização dos vários elementos elétricos, o mecanismo utilizado para puxar a fita e uma zona destinada a guardar os componentes que apesar de retirados da fita não foram usados, são alguns dos pormenores comuns a todos os dispositivos ponderados. Nesta secção serão explicados os sistemas da solução escolhida: dispensador de segmentos de fita.

O microcontrolador tem associado a si, como esquematiza a Figura 4.1, os vários componentes eletrónicos do sistema. Na parte superior da figura são apresentados os elementos de *output* como o motor passo a passo utilizado na tração da fita, o solenoide empregue no travão, o servomotor associado ao corte da fita e os LEDs para localização do dispensador. No plano inferior da ilustração são enumerados os diversos elementos de *input* como os vários sensores utilizados e os botões de atuação manual desenvolvidos.

Estes componentes serão descritos com maior pormenor ao longo do presente capítulo.

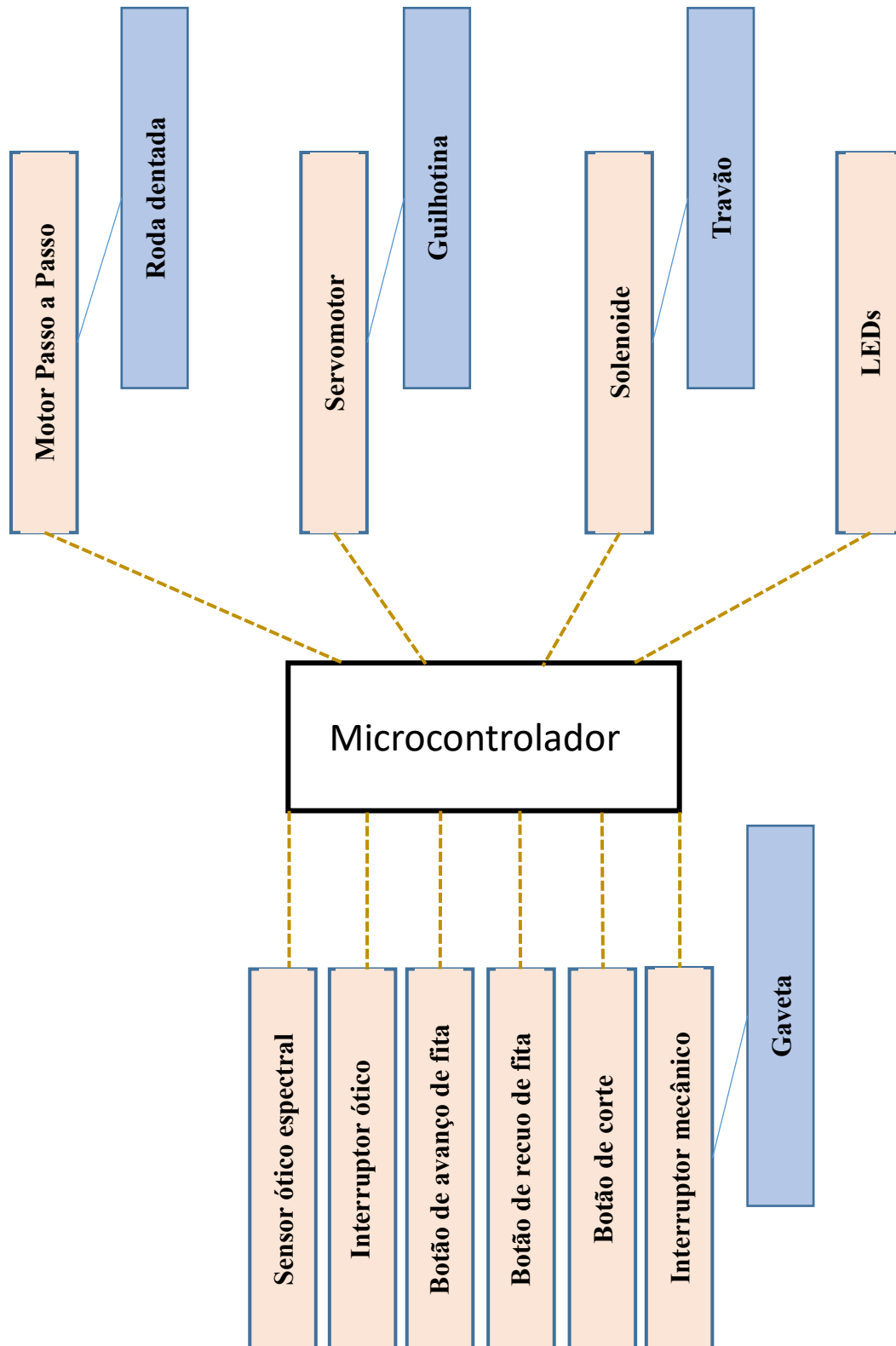


Figura 4.1 - Diagrama dos vários elementos que compõem o dispensador

Localização por LEDs

Um dos principais problemas com que o operador se depara é a dificuldade em encontrar os vários componentes elétricos no inventário. A solução passará por incorporar um emissor de luz na face exposta da caixa que contem a fita, por se tratar de um armazém em que os componentes se apresentam todos no mesmo plano de visão. A Figura 4.2, mostra o resultado final dos LEDs, já integrados no equipamento.



Figura 4.2 - Foto dos LEDs de localização integrados no equipamento

Como é visível pela imagem, foram utilizados 3 LEDs de cores distintas. Isto prende-se com a necessidade de informar o utilizador de diferentes situações que possam ocorrer, como a existência de componentes já retirados da fita que foram guardados na zona destinada a esse fim, notificação para a troca do rolo de componentes por o mesmo carecer de componentes ou simplesmente alertar que ocorreu um erro.

A Tabela 2, ilustra o código de cores utilizado.

Tabela 2 - Código de cores do equipamento

Cor	Significado
Verde	A dispensar componentes
Amarelo	Com componentes em gaveta
Vermelho	Trocar bobina de componentes ou Erro

A Figura 4.3, mostra as ligações eletrónicas dos LEDs ao microcontrolador.

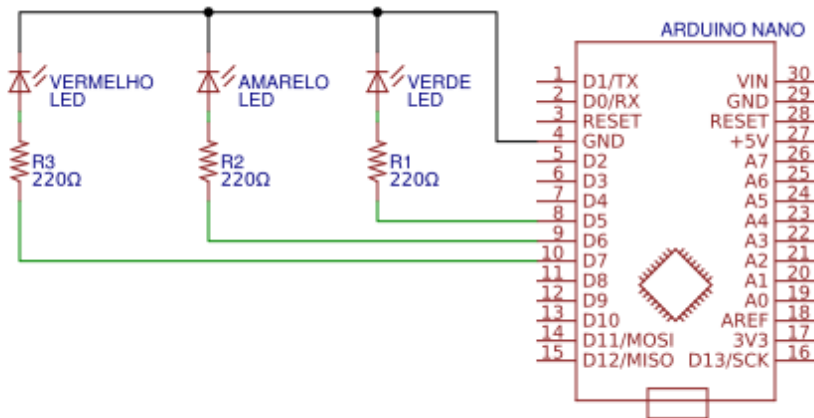


Figura 4.3 – Esquema elétrico para controlo dos LEDs

O ânodo dos LEDs verde, amarelo e vermelho foram ligados, respetivamente, às saídas digitais “D5”, “D6” e “D7” do Arduino Nano, e os seus cátodos ao “GND”. Em cada uma destas linhas foi integrada uma resistência de 220Ω de forma a evitar o sobreaquecimento dos emissores luminosos.

Tração da fita

O mecanismo de tração da fita é a função mais importante e que envolve um maior rigor de todo o projeto. A fita deve posicionar-se de forma precisa para que na etapa que se sucede, o corte, não envolva problemas como danos nos componentes. Em algumas fitas o espaçamento entre os limites dos componentes, que será a zona de corte, é de 0.7 mm.

Dado este requisito, o tipo de motor escolhido para esta operação foi um motor passo a passo que se destaca, entre outros aspetos, pela sua precisão. Este género de motores é ainda caracterizado por ser de baixo custo, robusto, sem manutenção, com um binário remanescente, baixa velocidade, funcionamento digital, dispensar o uso de redutores e ter ainda a possibilidade de funcionar em anel aberto em controlo de posição ou velocidade.

A Figura 4.4, ilustra toda a cadeia de componentes necessários para tracionar a fita e fazer o seu controlo de posição e contagem de componentes a extrair.




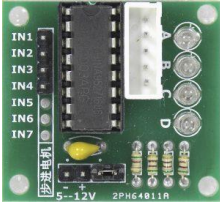
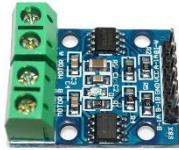

A aplicabilidade do projeto pressupõe que, sabendo que o dispositivo será replicado para as várias referências de fitas SMD, o custo será sempre um aspeto preponderante. Por essa razão foram testados vários motores com os respetivos *drivers*, Tabela 3, ordenados por valor crescente de custo, até conseguirmos obter todos os predicados necessários ao correto funcionamento do sistema.



Figura 4.4 – Mecanismo de tração da fita e respetivo feedback

De notar que todos os motores abaixo referidos têm um comprimento máximo (corpo + veio) de 40 mm de forma a serem alocados no equipamento, o qual terá um espaçamento interno máximo de 43mm.

Tabela 3 - Motores Testados

	28BYJ-48	ST-PM35-15	17HS08-1004S
			
Descrição	Unipolar Tensão: 5V Corrente $\approx 0,2A$ Binário: 34,3mN.m Nº de polos: 4 Nº de passos: 64 Redução $\approx 1/64$	Bipolar Tensão: 12V Corrente: 0,4A Binário: 9,8mN.m Nº de polos: 4 Nº de passos: 48	Bipolar Híbrido Tensão: 3,5V Corrente: 1,0A Binário: 130mN.m Nº de passos: 200
Comprimento (Corpo + veio)	19+10= 29mm	15+11= 26mm	20+20= 40mm
Drivers utilizados no controlo	 ULN 2003	 HG7881	 DRV8834
Precisão	Baixa	Média	Elevada
Folga	Elevada	Pequena	Mínima
Custo (Motor + Driver)	3,95 + 3,65 = 7,6€	8,97 + 2,46 = 11,43€	12,48 + 4,45 = 16,93€

O motor de passo 28BYJ-48 apresenta uma montagem simples, com um driver de reduzidas dimensões e uma caixa de redução constituída por 8 engrenagens de plástico, perfazendo uma razão de transmissão de:

$$i = \frac{31 \times 32 \times 26 \times 22}{11 \times 10 \times 9 \times 9} = \frac{283712}{4455} = \frac{25792}{405} = 63,68$$

Apesar da cadeia de engrenagens aumentar substancialmente o binário do motor, o valor obtido no cálculo da redução é, por si só, um fator de imprecisão.

Este motor é unipolar pelo que a corrente circula nos enrolamentos do estator sempre no mesmo sentido. Este tipo de motor possui cinco fios condutores e é formado por dois enrolamentos iguais com ponto médio comum, apresentando 4 fases [14].

Para testar este motor unipolar foi impressa, em *Polylactic acid* (PLA), uma roda com 32 dentes e o mesmo foi controlado em *full-step*. Este modo é caracterizado por ter um binário mais elevado resultante da constante ativação de duas fases em cada passo. O microcontrolador usado para os testes foi o Arduino Nano, estando o circuito elétrico ilustrado na Figura 4.5.

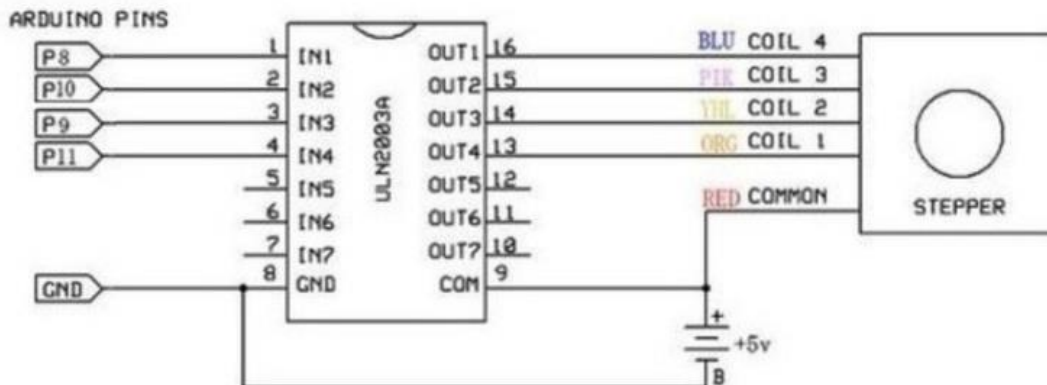


Figura 4.5 - Circuito testado para controlo do Motor 28BYJ-48

A placa de circuito comprada, que integra o driver “ULN2003”, está concebida para o motor em causa, pelo que as ligações motor-*driver* estão pré-formatadas. Foi apenas necessário definir os pinos digitais e alimentar o driver.

Concluídos os ensaios, observou-se uma elevada folga no veio, quer a nível axial quer radial, traduzindo assim o que poderá ser a folga de uma cadeia de redução em plástico com mau acabamento. Este aspeto viria a mostrar-se decisivo na escolha do motor, culminando com a sua exclusão.

Numa segunda fase foi testado o motor passo a passo bipolar “ST-PM35-15” que funciona com uma tensão de 12 V e 0,4 A de corrente e foi, portanto, necessário escolher um driver que fosse de encontro aos requisitos do mesmo.

Os motores bipolares possuem quatro condutores da ligação, duas fases, podendo a corrente circular em cada enrolamento nos dois sentidos, criando campos magnéticos com polaridades contrárias consoante o sentido. Este género de motores são de construção mais

simples que o motor unipolar e para o mesmo tamanho possuem, normalmente, um binário mais elevado [14].

O módulo de driver escolhido para o efeito foi o “HG7881”, este permite tensões até 12 V e intensidades até 0,8 A, além de que, é um dos drivers mais baratos do mercado.

Este motor passo a passo, sendo de íman permanente, é formado normalmente por duas secções, cada uma com o seu enrolamento e vários conjuntos de polos magnéticos dispostos radialmente em torno do rotor. O rotor é cilíndrico, sendo composto por um conjunto de ímanes permanentes N-S dispostos radialmente em torno do veio.

Não contemplando caixa de redução, não apresenta a folga radial observada no motor anterior, mas em contrapartida o binário disponível é consideravelmente inferior, mesmo sendo bipolar. A montagem utilizada para testes é ilustrada pela Figura 4.6.

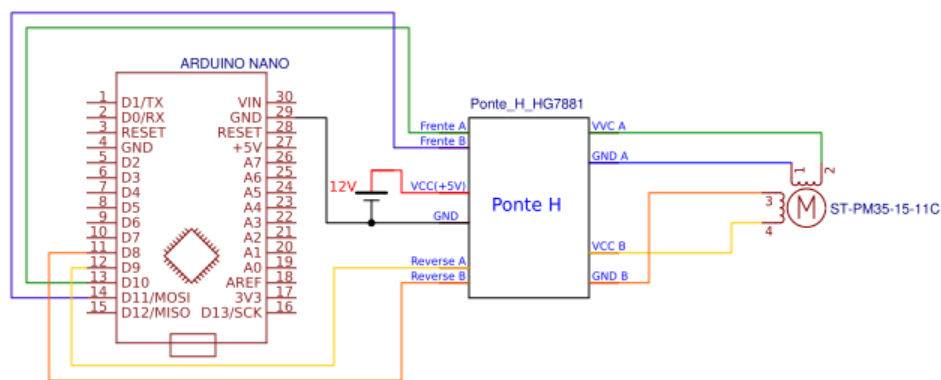


Figura 4.6 – Circuito elétrico utilizado para testar o motor de passo ST-PM35-15-11C

Procedeu-se à experimentação do motor. Para o efeito foi também impressa uma roda dentada, desta vez com 48 dentes, concordante com o número de passos do motor. Apesar de a folga ser muito menor, o motor não apresentava a precisão de movimento necessária à aplicação.

Derivado dos resultados experimentais dos motores anteriores, foi necessário recorrer a outro motor, desta feita mais robusto, o 17HS08-1004S. Este híbrido, funciona a 1,0 A por fase e a 3,5 V e a tem 200 passos por rotação. Apresenta ainda um veio de saída em “D”, ao qual foi acoplada uma roda com 40 dentes impressa em PLA.

Um motor híbrido é caracterizado por combinar os princípios do motor de íman permanente com os princípios do motor de relutância variável, distinguindo-se por apresentar dentes no estator e no rotor, sendo neste último magnéticos. O motor híbrido tem um pequeno ângulo de passo, com cerca de $1,8^\circ$, e um binário elevado num motor relativamente pequeno.

Este género de motores, conta com um rotor constituído por um íman permanente e massas polares, com dentes, unidos aos polos do íman. O estator possui tipicamente dois enrolamentos com diversas bobinas e polos magnéticos com dentes. Estes polos estão dispostos defronte dos dentes das massas polares do rotor. Como reúne as vantagens do motor de íman permanente e do motor de relutância variável, transforma-se assim num dos motores passo a passo mais utilizados em aplicações industriais [14].

O driver escolhido para o seu controlo foi o DRV8834, e o controlo do motor varia um pouco relativamente aos dois casos acima, acabando por ser mais simples visto que o programador não tem que fazer o controlo da ativação dos polos do motor e apenas necessita de controlar duas saídas digitais, uma para controlar a direção do movimento e a outra para

fazer o incremento dos passos. São também utilizadas três saídas digitais extra, duas delas ligadas a M0 e M1, respetivamente, para definir o tipo de resolução a dar ao motor, no nosso caso *full-step* e a outra saída digital é utilizada para ligar e desligar o motor, evitando assim o desperdício de energia e que o motor aqueça. O “GND” do Arduino Nano foi ligado ao “GND” do *driver*.

A Figura 4.7 ilustra as ligações elétricas para controlo do motor.

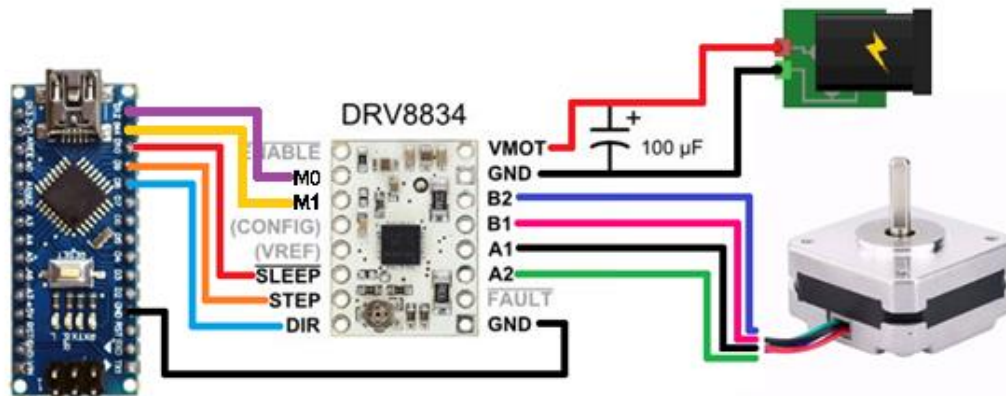


Figura 4.7 - Esquema de montagem para testar o motor 17HS08-1004S

As saídas A1, A2 do *driver* foram ligadas aos polos de uma das bobinas do motor e as B1, B2 à outra bobina. Foi ainda utilizada uma fonte de 3,5V e 1,5A, ligada ao *driver*.

A escolha recaiu então no motor de passo “17HS08-1004S”, que oferece a precisão necessária, não ostenta uma folga crítica e apresenta um custo suportável para a replicação do equipamento em média escala.

Tal como já foi referido no capítulo anterior, todas as fitas possuem furos da mesma dimensão e igualmente espaçados ao longo de toda a sua extensão. Aproveitando esse facto, foi desenhada uma roda dentada em conformidade com as dimensões da fita, de maneira a que, estando emparelhada com a mesma, possibilitasse a sua extração do rolo.

Para dimensionamento deste componente, foi escolhida altura e o número de dentes, as restantes dimensões são calculadas tendo por base o passo dos furos da fita, 4 mm.

A Figura 4.8 mostra algumas das dimensões necessárias para a construção da roda. A altura arbitrada dos dentes será 1,4 mm e o número de dentes deste integrante é divisor do número de passos do motor escolhido, no caso 40, de forma a facilitar o seu controlo.

Segue o cálculo do raio primitivo e respetivo raio de base:

$$2 \times \pi \times R = 4 \times 40$$

$$R = 25,465 \text{ mm}$$

Considerando $R=25,47 \text{ mm}$,

$$R = R_b + 0,5 * H$$

$$R_b = 24,77 \text{ mm}$$

Onde,

R, é o raio primitivo, e

R_b, é o raio de base.

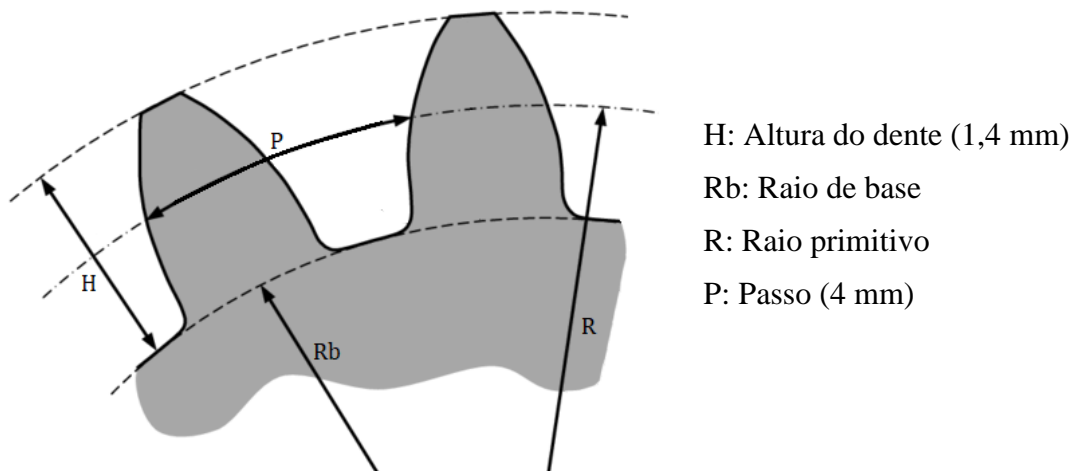


Figura 4.8 - Elementos geométricos da roda dentada

A largura e espessura dos dentes, representas na Figura 4.9, são dimensões bastante próximas, no caso 1,1 mm e 1 mm respetivamente, de forma a trespassar os furos da fita que têm 1,5 mm de diâmetro. Estas medidas foram calculadas de forma a que os dentes tivessem a maior área transversal possível, de forma a que a de corte seja superior.

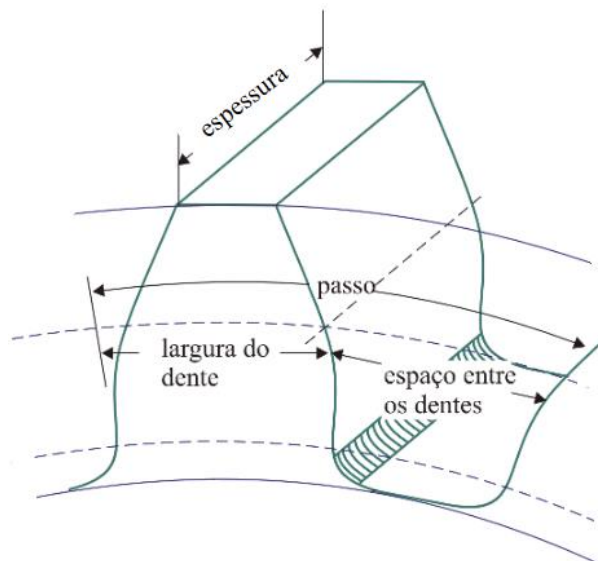


Figura 4.9 - Representação tridimensional do dente da roda de tração [15].

Apesar do motor de passo possibilitar o controlo em malha aberta, recorreu-se a um interruptor ótico para que o utilizador tenha algum “feedback” da ação do motor. Este componente é constituído por um emissor de infravermelhos e um recetor no qual é feita a deteção do feixe, o que implica que quando um obstáculo se encontra no campo de ação de ambos, altera-se o estado da entrada digital. O feixe de infravermelhos deverá ficar posicionado perpendicularmente à fita e alinhado com os furos da mesma, de maneira a que proceda à contagem dos vários componentes através do número de furos percorridos na fase de tração.

No final deste processo este elemento validará a posição da fita. Caso a fita não se encontre corretamente posicionada, este componente incitará o motor passo a passo a procurar a posição correta para o corte. Neste processo, o motor é controlado em micropassos de um

oitavo de passo, de forma a obter uma maior precisão no deslocamento da fita e apenas se procederá ao corte quando a mesma estiver na posição desejada.

O fotodíodo escolhido foi o RPI- 0226, estando as suas dimensões representadas na Figura 4.10.

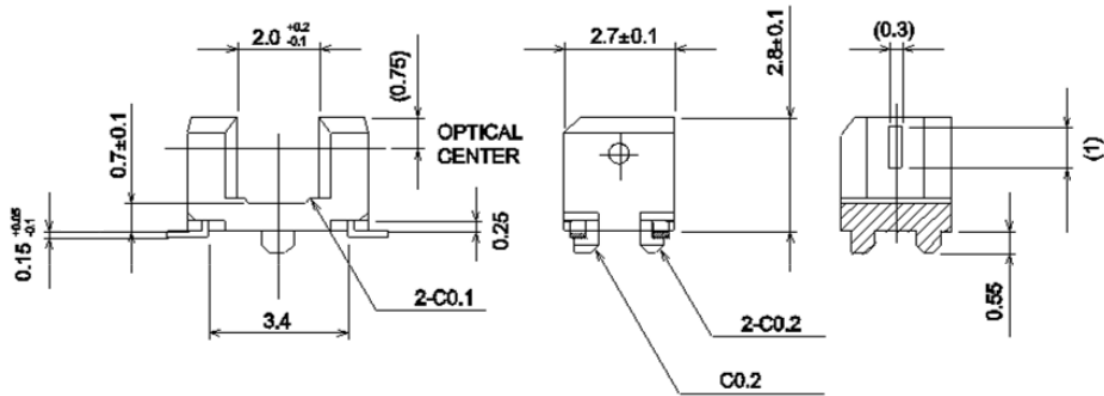


Figura 4.10 - Vista frontal, lateral e lateral em corte do interruptor ótico RPI-0226 [16], dimensões em mm.

A utilização deste interruptor, sendo um elemento de montagem superficial, pressupõe o desenvolvimento de uma PCB que possibilitasse, por um lado, a leitura por parte do microcontrolador e, por outro, permitisse dispor o componente no local pretendido.

Este componente necessita ainda de duas resistências, a primeira, na linha coletor – emissor, é predefinida pelo fabricante como sendo 1kΩ, a segunda, na linha ânodo – cátodo, depende da tensão aplicada na linha. No nosso caso a resistência estará sujeita a uma tensão de 5V, e sabendo que, pelas especificações do componente, a corrente é de 50mA, temos:

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{5}{0,05} = 100 \Omega$$

Onde,

R_1 , é a resistência a utilizar na linha ânodo-cátodo

U , é a tensão na linha ânodo-cátodo, e

I , é a corrente na linha ânodo-cátodo.

O circuito fica então definido como ilustrado pela Figura 4.11, faltando apenas o desenho da PCB e respetiva impressão.

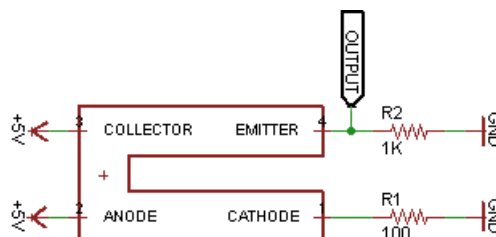


Figura 4.11 - Esquema elétrico a aplicar

Para tal, e recorrendo ao software de desenho EAGLE, foi projetada e impressa uma placa de circuito impresso (PCB), como mostra a Figura 4.12.

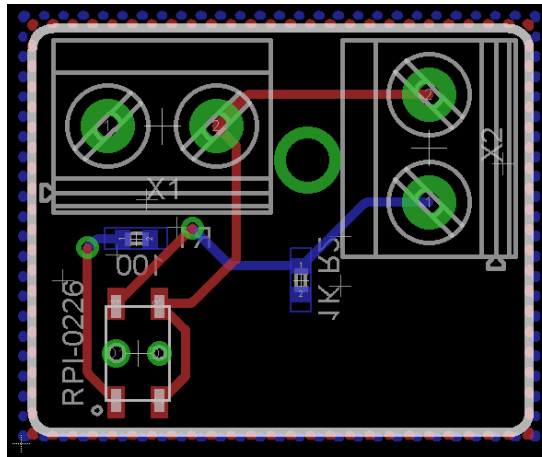


Figura 4.12 - Esquema em EAGLE da PCB para o interruptor ótico RPI-0226

A PCB contempla duas faces de impressão sendo que numa apenas se encontra o fotodiodo e respetivas ligações, ilustradas acima pela cor vermelha, e no lado oposto foram soldadas as resistências, a azul, e os fios de ligação, orifícios a verde nas posições X1 e X2.

Travão mecânico

O travão foi um elemento criado para a imobilização da fita. Isto permite que o motor passo a passo seja desligado logo após a tração da fita, evitando qualquer tipo de desvio da fita relativamente ao local de corte, assegurando também a precisão do mesmo. Esta peça é constituída por um solenóide de reduzidas dimensões e um objeto em forma de forquilha projetado para se deslocar nos furos feitos na peça de guiamento da fita e simultaneamente encaixar nos furos da fita.

O solenóide possui uma tensão de funcionamento de 5 V e 1,1 A de corrente e para a sua integração no circuito de comando é necessário recorrer a um transístor, visto que as saídas digitais do arduino nano apenas permitem fornecer uma corrente de 40 mA. É, portanto, necessário escolher um transístor que suporte pelo menos o dobro da tensão de funcionamento (10V) e 1,1A de corrente. Foi utilizado o transístor “TIP122”, existente no laboratório, que visa todas essas características. O circuito deverá ainda conter uma resistência ligada na base do transístor de forma a limitar a corrente que passa no solenoide (ligado ao coletor).

O cálculo da resistência foi feito tendo por base a curva característica do transístor, apresentada na Figura 4.13.

Ora sabendo que o solenoide funciona a 1,1 A (no coletor),

$$\frac{I_C}{I_B} = 250 \rightarrow I_B = 0,0044 \text{ A}$$

Onde,

I_C , é a corrente no coletor do transístor

I_B , é a corrente na base do transístor.

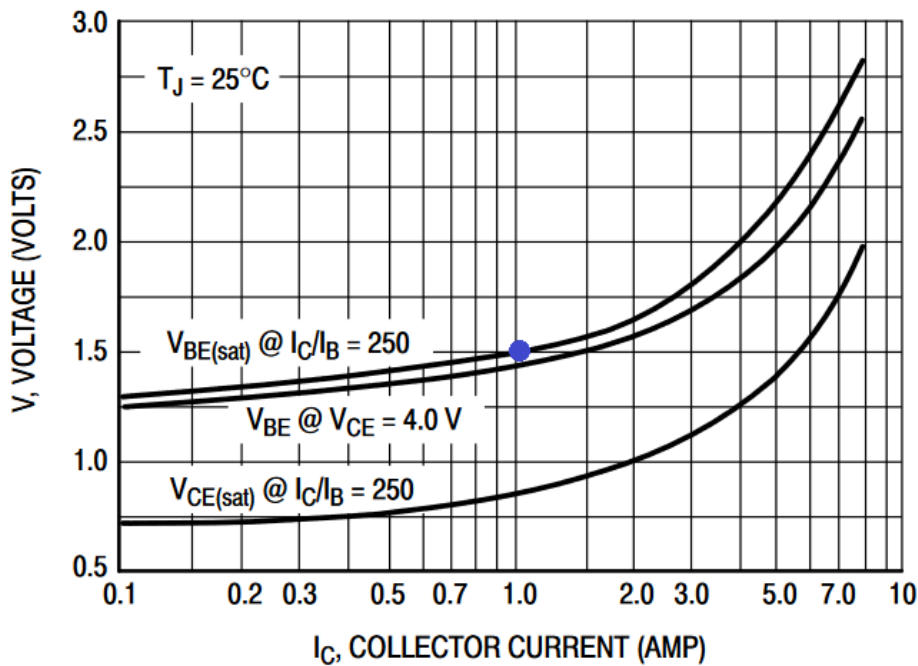


Figura 4.13- Curva característica do transistor TIP122 [17].

E, pelo gráfico, observamos que a diferença de potencial de saturação base-emissor para uma corrente de 1,1 A é sensivelmente 1,5 V então, para uma alimentação de 5 V temos que:

$$R = \frac{V_{fonte} - V_{BE(sat)}}{I_B} = \frac{5 - 1,5}{0,0044} = 795 \Omega$$

Onde,

R, é a resistência na linha da base

V_{fonte} , é a tensão teórica fornecida pela fonte externa

$V_{BE(sat)}$, é a tensão de saturação base-emissor, e

I_B , é a corrente na base do transistor.

Com base nos cálculos anteriores a resistência escolhida para o circuito foi de 1 k Ω , a Figura 4.14 apresenta o esquema elétrico utilizado para controlo do solenoide.

O circuito elétrico contempla o Arduino Nano, do qual foi utilizada a saída digital “D4” para controlo do solenoide. Este pino é ligado a uma resistência de 1K Ω e esta à base do transistor. O “GND” do microcontrolador e o ânodo da fonte de energia externa utilizada são ligados ao emissor do “TIP122”. O cátodo da fonte e o coletor do transistor são ligados a cada um dos fios da bobina respetivamente.

Como o solenoide é uma carga indutiva, é ainda necessário utilizar um díodo nos contactos de forma a eliminar tensões transientes provocadas pela perda súbita de energia na bobina [18].

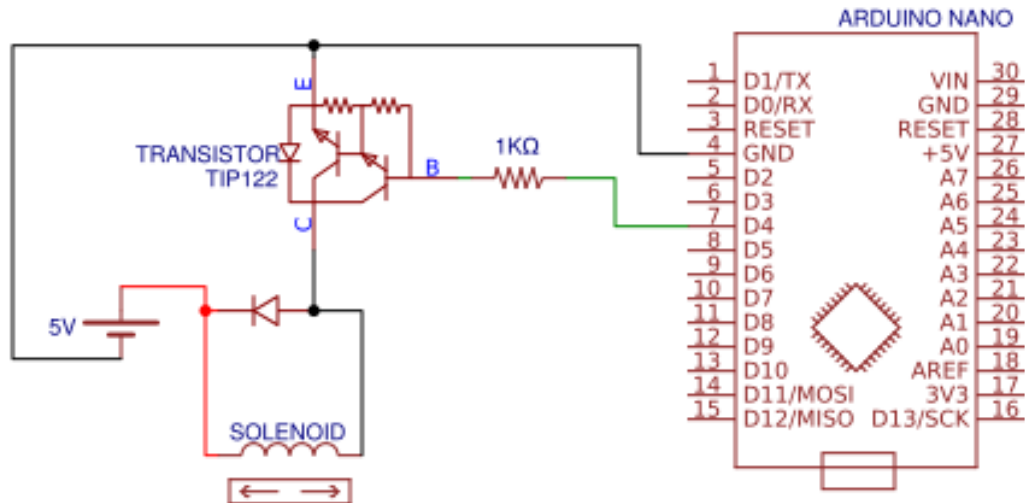


Figura 4.14 – Circuito elétrico de atuação do solenoide

Inserido na peça de guiamento da fita este conjunto acaba por funcionar como um elemento de proteção e isolamento dos componentes internos do dispensador, pois qualquer força exercida na fita será, por ele, absorvida.

Corte da Fita

Um dos aspetos que caracterizam o dispensador é o corte automático da fita por parte do sistema. Na solução implementada foi escolhida a lâmina de bisturi como elemento de corte, por haver a possibilidade de serem encomendadas em grandes quantidades por um preço unitário de 0,20 € e, ser mais robusta que a outra opção ponderada, lâminas de barbear.

Procedeu-se então a ensaios na máquina de ensaios de tração/compressão para verificar qual a força máxima necessária a exercer na lâmina para cortar a fita. Foi criado um suporte para a lâmina, em PLA, que posiciona a mesma com o ângulo pretendido de maneira a que a área de contacto com a fita seja a menor possível, facilitando assim o corte da mesma. Para o teste foram utilizadas apenas fitas de cartão por apresentarem uma maior tensão de corte que as fitas de plástico.

A Figura 4.15 ilustra os ensaios realizados na máquina universal da FEUP.

Foram efetuadas duas tentativas com a mesma frequência de leitura, a primeira com a duração de 60 segundos (velocidade de descida de 10 mm/min) ilustrada pela Figura 4.16, e outra com uma velocidade de 500 mm/min (ensaio com uma duração aproximada de 2 segundos) representada na Figura 4.17, os resultados são apresentados graficamente.



Figura 4.15- Teste de corte da fita de cartão

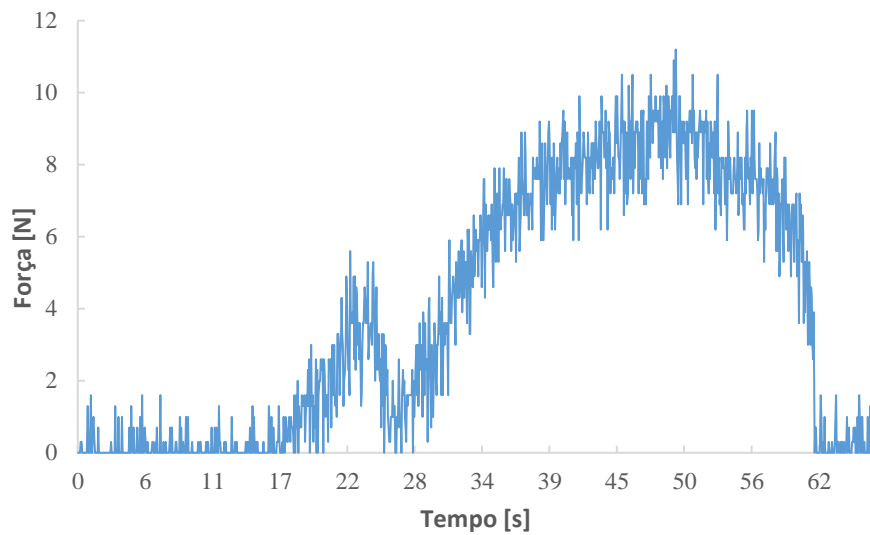


Figura 4.16 - Gráfico do ensaio de corte da fita de cartão, com velocidade da lâmina de 10 mm/min

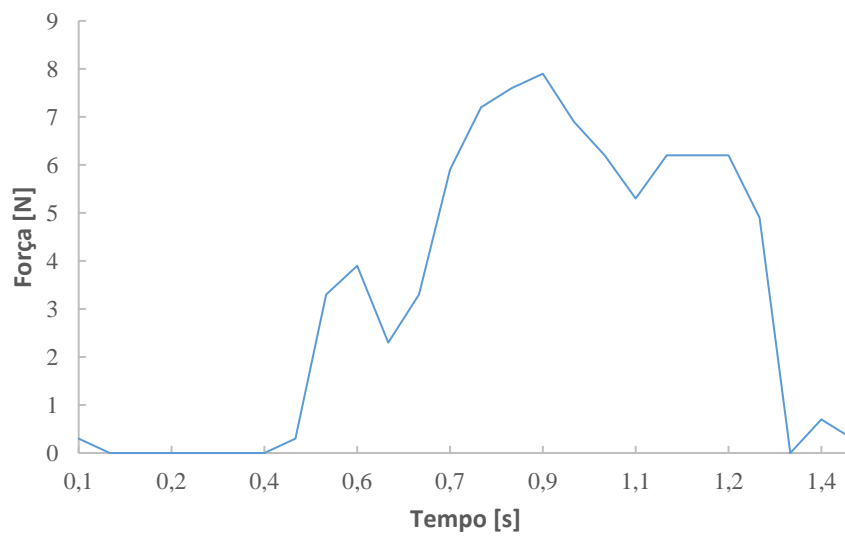


Figura 4.17 - Gráfico do ensaio de corte da fita de cartão, com velocidade da lâmina de 500 mm/min

O valor de força máxima necessária para cortar a fita foi registado no movimento mais lento, atingindo 11,4 N. Tendo em consideração essa força e sabendo que o atrito entre a guia da guilhotina e o seu suporte é grande, consequência das imperfeições no acabamento da impressão das mesmas, foi desenhada uma solução articulada, motorizada por um servo motor que conta com um braço acoplado ao veio de saída do motor e uma barra que faz a articulação entre o suporte da guilhotina e o braço do motor.

A Figura 4.18 esquematiza o diagrama de corpo livre da estrutura de corte. E sabendo que a força F_{corte} terá que ser razoavelmente superior a 11,4 N, seleccionou-se um servo motor com um binário de 1 Nm, o MG996R.

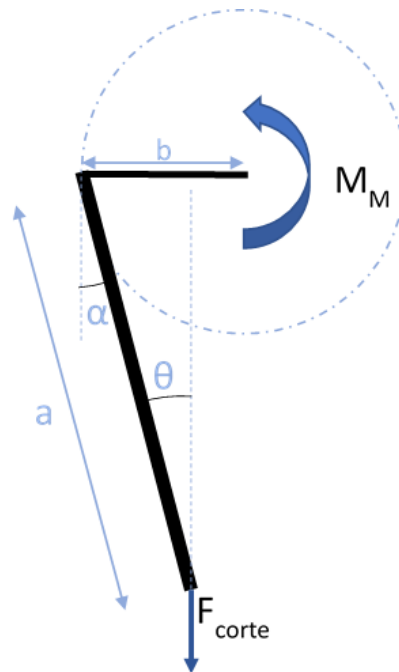


Figura 4.18- Diagrama de corpo livre da solução articulada de corte

O servomotor escolhido é constituído por um pequeno motor DC, um circuito eletrónico de controlo, um potenciómetro de feedback que roda em conjunto com o eixo do servo e um conjunto de engrenagens.

Os servomotores elétricos são motores usados em aplicações de posicionamento. O motor do servomotor, ao ser alimentado, faz mover uma série de engrenagens (reductoras) que ampliam e transferem o binário do motor para o eixo. Neste estão ligados os dispositivos a movimentar. Através deste processo, consegue-se uma força significativa à custa da redução da velocidade. Se o motor fosse ligado diretamente ao eixo de saída, para movimentar a mesma carga, o seu tamanho físico teria de ser várias vezes superior ao que os servomotores possuem. Sendo estes empregados em operações de posicionamento, o seu motor deve sempre responder velozmente às ordens recebidas, modificando o seu binário e velocidade rapidamente.

O circuito eletrónico de controlo e o potenciómetro originam um sistema interno de realimentação (feedback) para autodomínio da posição do eixo do servomotor. Introduzido e mantido o sinal, o servomotor mantém a posição angular do seu eixo. Se o sinal modificar, o eixo do servo roda para uma nova posição angular, caso não seja aplicado sinal, só as forças de atrito conservam o servomotor na sua posição angular. O potenciómetro está interligado mecanicamente ao eixo de saída do servomotor e trabalha como sensor de posição do eixo – a tensão nos terminais do potenciómetro é proporcional ao ângulo de rotação do eixo do servo – uma vez que a sua resistência varia linearmente com a sua posição angular.

O circuito eletrónico compara o valor da resistência do potenciómetro com os impulsos que recebe pela linha de controlo, ativando o motor para corrigir qualquer diferença que exista entre eles. Assim, o potenciómetro permite que o circuito de controlo verifique a todo o momento a posição angular do eixo do servomotor. A comparação entre o valor do potenciómetro e os impulsos de comando, e as correções que origina, estão a cargo do controlador em malha fechada.

Uma vantagem enorme da aplicação dos servos é a sua capacidade de deslocarem cargas elevadas, apesar do seu reduzido tamanho, tornando-os numa opção bastante viável e poderosa [14].

O servo escolhido conta com 1 Nm de binário e oferece um elevado controlo da posição angular. O motor inclui ainda um braço, b , de 20 mm para acoplar ao seu veio de saída, o que resulta numa força perpendicular ao braço de 50 N.

Características do Servo MG996R

- Tensão de alimentação é tipicamente 5 V
- Corrente máxima: 2.5 A (6 V)
- Corrente de funcionamento: 500 mA - 900 mA
- Binário: 9.4 kg/cm (a 4.8 V)
- Binário máximo: 11 kg/cm (6 V)
- Velocidade de rotação: 0.17 s/60°
- Material das engrenagens: Metal
- Ângulo de rotação: 0°-180°
- Peso do motor: 55 gf

A guilhotina terá apenas que fazer um deslocamento vertical de 15 mm para cortar a fita, o que para um braço de 20 mm corresponde a um ângulo de:

$$2 \times \left(\tan^{-1} \frac{15 \div 2}{20} \right) \approx 41^\circ$$

A posição em que o braço transmite menor força é a final em que α apresenta o valor de 35° e θ um valor de cerca de 9°. Para estes valores a força, F_{corte} , transmitida é de:

$$F_{\text{corte}} = (50 \times \cos 35^\circ) \times \cos 9^\circ \approx 40 \text{ N}$$

Onde,

F_{corte} , é a força vertical (estimada), transmitida ao elemento de suporte da guilhotina.

Como já foi referido, esta força será ainda sujeita a forças de atrito no guiamento, mas o facto de apresentar um resultado de mais de três vezes superior ao necessário para o corte, dá bastantes garantias do seu funcionamento.

Gaveta

Requisito primário, foi criado para este modelo uma zona de armazenagem de componentes que, mesmo tendo sido postulados pelo utilizador, não foram utilizados. Este espaço torna-se fundamental no controlo do desperdício de inventário pelo que importa tornar funcional uma logística de aproveitamento do material sobranante.

Com vista a controlar o estado de abertura da gaveta foi alocado o interruptor digital de fim de curso k850565, na zona de terminação do encaixe da mesma.

Este interruptor pode ser ligado e alimentado diretamente pelo Arduino Nano, 5 V, o que facilita a sua utilização e controlo. Conta ainda com dois furos para fixação que se tornaram práticos na assemblagem do mesmo à caixa do dispensador.

As suas ligações ao Arduino são apresentadas na Figura 4.19.

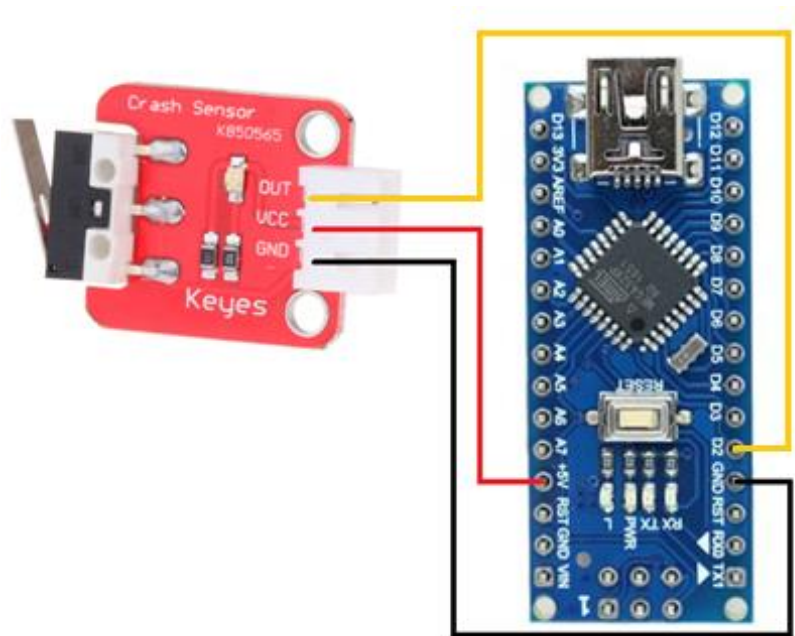


Figura 4.19 – Ligações do sensor de fim de curso ao Arduino Nano

A placa que integra o interruptor mecânico conta com um adaptador, que simplifica o processo de ligação ao Arduino Nano e do qual saem três fios, o vermelho (VCC) que liga aos “+5V”, o preto que liga ao “GND” e o fio amarelo liga à saída digital definida.

Controlo do fim da fita

Apesar de cada equipamento estar associado a uma base de dados que faz o controlo do número de componentes em bobina, foi criada uma alternativa de feedback física, que dá indicação ao utilizador de quando a fita está a terminar.

Para esse efeito, foram previamente avaliadas as terminações dos rolos e ponderadas várias alternativas.

A primeira solução passaria desde logo por detetar uma chapinha metálica que normalmente é utilizada no término dos componentes para acoplar uma zona de fita sem elementos, para o efeito seria, então, utilizado um sensor indutivo. Como nem sempre este elemento metálico está presente nas bobinas, esta opção acabou por não ser implementada.

Recorreu-se então ao sensor ótico espectral AS7262, com seis canais recetores que funcionam a diferentes comprimentos de onda. Este componente permite identificar além do elemento metálico, que tem uma cor dourada, o final dos componentes sem extensão da fita através da manipulação dos valores de leitura do sensor, que variam consoante a alteração da cor do objeto que se apresenta à sua frente.

A ligação deste componente ao Arduino Nano está ilustrada na Figura 4.20, e foi feita por *Inter-Integrated Circuit (I2C)*, havendo também a possibilidade de interface deste componente por *universal asynchronous receiver-transmitter (UART)*.

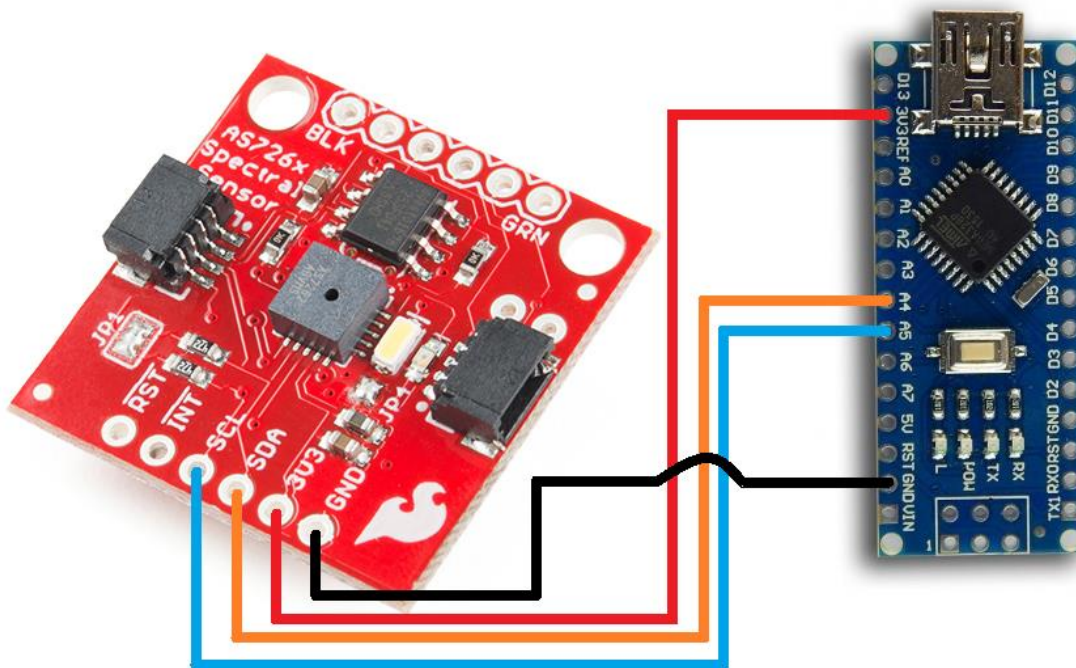


Figura 4.20 - Montagem do sensor AS7262 ao Arduino Nano

Elementos complementares

Com vista a aprimorar o mecanismo e aumentar o seu leque de possibilidades, foram associados ao controlador três botões.

Um deles, o botão de corte, tem como função mandar repetir o movimento de corte da guilhotina e foi criado para o caso do corte programado não resultar no corte da fita. Este botão será embutido depois na face exposta do dispensador para possibilitar a sua fácil utilização.

Os restantes dois botões são para controlo manual da posição da fita, criados, essencialmente, para uma rápida substituição do rolo, permitindo o seu avanço e recuo com vista a que a mesma fique posicionada de forma precisa e correta no mecanismo.

A Figura 4.21, ilustra o circuito criado para a utilização de um botão, notando que o mesmo é comum aos três botões em causa.

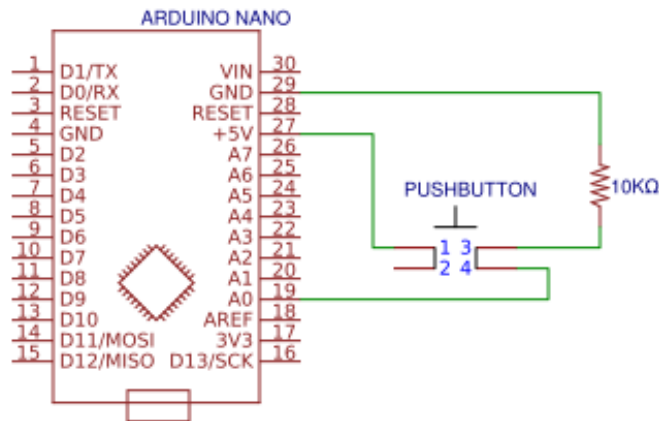


Figura 4.21 - Esquema elétrico utilizado para os botões

Os botões utilizados têm quatro pinos, sendo que os pares 1-2 e 3-4 são pontos comuns. Em cada botão, o pino “1” foi ligado aos “+5V”, o pino “3” ao “GND” (integrando ainda nesta linha uma resistência de 10KΩ, resistência a funcionar em *Pull-Down*) e o pino “4” ligado à correspondente porta digital do Arduino Nano.

Materiais utilizados na construção do protótipo

A grande maioria das peças incluídas neste protótipo foram produzidas por impressão. A caixa exterior, fabricada pela empresa foi impressa em *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) e as peças internas foram desenvolvidas em ambiente 3D através do “SolidWorks 2018”, configuradas para impressão no “Ultimaker Cura 4.0.0” e obtidas em PLA pela impressora “witbox” do laboratório da FEUP.

Esta tecnologia de *Fused Deposition Modeling* (FDM) é amplamente utilizada no desenvolvimento de protótipos, e consiste na deposição de material derretido, camada por camada, num caminho predefinido.

A Figura 4.22, apresenta o modo como se processa a impressão.

Como é possível observar, este processo implica muitas das vezes a impressão de zonas de suporte para segurar camadas que serão obtidas à posteriori. Este material é depois removido, sendo o mesmo um desperdício.

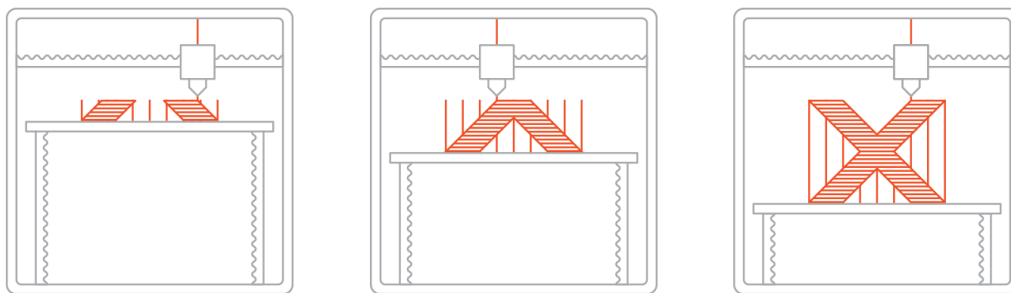


Figura 4.22 - Processo de impressão FDM [19].

O ABS e o PLA oferecem diferentes vantagens. O PLA é mais fácil e conveniente de usar, contudo, o ABS é mais forte e flexível. O ABS funde a uma temperatura mais elevada e requer uma maior experiência para uma correta impressão. Este material deve, ainda, ser impresso numa superfície aquecida para evitar que a peça entorte enquanto está a ser criada. O PLA tendo uma temperatura de fusão menor, que acaba por limitar a sua utilização em peças para operações mecânicas, pode ser impresso numa superfície não aquecida, sendo por isso muito utilizado em impressoras pessoais.

A Tabela 4 compara as propriedades dos dois materiais.

Tabela 4 - Comparação de propriedades de PLA e ABS [20]

Propriedades Matéria Prima – Grãos		
Propriedades	PLA	ABS Premium
Densidade	1,24 [g/cm ³]	1,04 [g/cm ³]
Temperatura de Fusão	185 [°C]	220 [°C]
Tg	60 [°C]	100 [°C]
Tensão Limite Elástico	66 [MPa]	38 [MPa]
Resistência à Flexão	130 [MPa]	66 [MPa]
Módulo de Elasticidade	4350 [MPa]	2200 [MPa]
Resultado ensaio de tração segundo a Norma ASTM D 638		
Tensão Limite Elástico	24,8 [MPa]	14,7 [MPa]
Módulo de Elasticidade	1896,0 [MPa]	1335,9 [MPa]
Tensão de Rutura	46 [MPa]	29 [MPa]
Alongamento	3,69 [%]	7,08 [%]
Resultado ensaio de dureza segundo a Norma ASTM D 2240		
Dureza	85 [Shore D]	74 [Shore D]
Resultado ensaio HTD segundo a Norma ISO 75		
Temperatura HDT	55,11 [°]	86,13 [°C]

Estas peças desenvolvidas por impressão tornaram possível o desenvolvimento de um modelo experimental. O aspeto exterior do dispensador é ilustrado pela Figura 4.23.



Figura 4.23 - Aspeto exterior do dispensador

O interior do equipamento é apresentado na Figura 4.24, na qual podemos destacar os vários sistemas do dispensador. A verde podemos observar a gaveta e o interruptor fim de curso, a azul vemos a placa que agrega os LEDs para localização do dispositivo, a amarelo mostra-se o sistema de corte e o contorno vermelho limita os elementos utilizados para tração da fita.

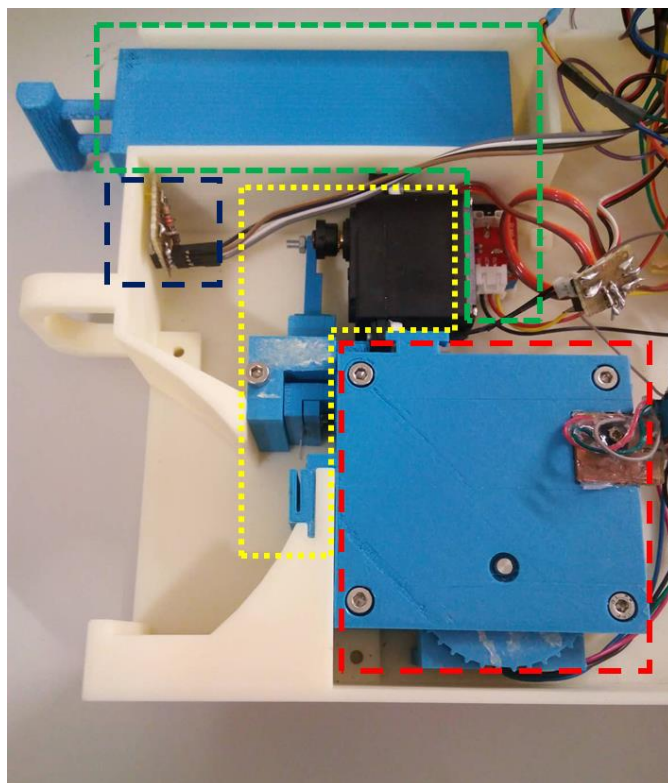


Figura 4.24 - Interior do protótipo desenvolvido

4.2 Controlador

Para o controlo do mecanismo foi utilizado um Arduino nano, esta placa de desenvolvimento composta pelo microcontrolador Atmel MEGA328P, que contempla circuitos de circuitos de entrada e saída, pode ser facilmente ligada a um computador e programada via *Integrated Development Environment* (IDE) utilizado C++ como linguagem de base [21].

A escolha recaiu neste microcontrolador em detrimento de um controlador mais robusto como por exemplo um PLC, já que as condições de utilização como temperatura, humidade, poeiras são favoráveis. Por outro lado, esta placa é significativamente mais barata, o que economiza o projeto e a sua possível massificação, e capaz de executar as várias operações deste equipamento. Assim a escolha recaiu neste componente.

Este elemento de controlo tem também a particularidade de poder ser utilizado de forma independente, isto é, depois de programada a placa, e ser devidamente alimentada, executa o código de forma autónoma sem que seja necessária qualquer ligação ao computador ou outro dispositivo.

O Anexo A, apresenta o esquemático do microcontrolador e as características do mesmo.

Para a programação do controlador foi utilizado o ambiente de desenvolvimento *Arduino IDE*, versão 1.8.9.

Cada dispensador contará com um microcontrolador, que fará o processamento das mensagens enviadas pelo *software* para a rede e que responderá sempre que for solicitado.

No caso de ser enviada uma trama de corte (função principal do mecanismo), irá implicar por parte do Arduino, a atuação do motor passo a passo de acordo com o número de componentes solicitados, do solenóide para travar e destravar a fita e do servomotor para cortar, envolve também a leitura constante do estado do interruptor ótico para a contagem dos furos e do sensor multiespectral e ainda a ativação dos LEDs.

4.3 Interface Homem-Máquina

Desenvolvido o equipamento é então necessário oferecer ao utilizador uma interface, prática e intuitiva que lhe permita usufruir de todas as funcionalidades do modelo, para o efeito foi utilizado o software “Visual Studio 2017” e criada uma aplicação de fácil perceção em linguagem C#.

Esta aplicação permite identificar cada dispensador associado e fazer o controlo do seu stock, para isso, a mesma cria blocos de notas (base de dados) individualizados para cada terminal, em que cada ficheiro contém um vetor com todos os dados relativos ao tipo de componente em questão e, procede a uma atualização dos mesmos consoante as alterações, informando assim, em tempo real, o utilizador das quantidades em stock, subdividindo-as ainda em componentes em bobina e em gaveta.

O utilizador seleciona o tipo de componentes que pretende, introduz a quantidade a levantar e vai criando a sua lista de requisição, no final confirma o procedimento e o *software* envia as várias mensagens, a serem descodificadas pelos respetivos microcontroladores, para a rede, sendo ainda possível acompanhar a resposta dos mesmos.

O anexo D, ilustra o ambiente de interface criado.

A interface apresenta, um ambiente de comunicação por porta série com os dispensadores disponíveis, esta comunicação foi apenas testada com o protótipo disponível, sendo depois necessário a implementação de um barramento, mas as mensagens trocadas contam já com um segmento de identificação do destinatário, podendo as mesmas serem utilizadas numa futura comunicação multiponto, sem comprometer a correta leitura da informação.

A Figura 4.25, esquematiza o modelo atual de comunicação e gestão de dados. Esta solução foi testada com a utilização do cabo USB e do protocolo RS232c, em comunicação ponto-a-ponto por se tratar apenas de um dispositivo.

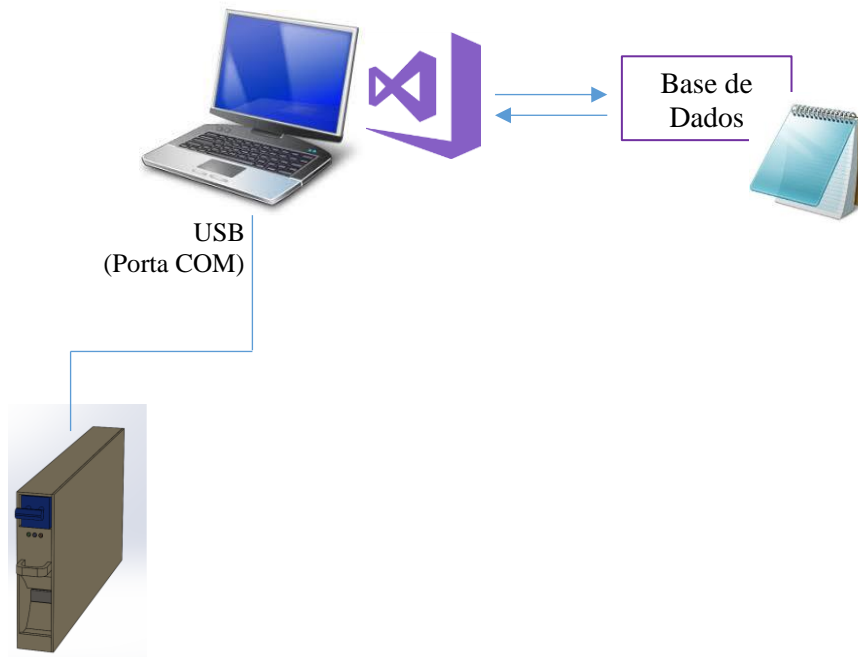


Figura 4.25 - Esquema de comunicação entre a base de dados, a interface e o dispensador

4.4 Protocolo de comunicação Arduino - Computador

O protocolo de comunicação entre a aplicação C# e os vários equipamentos contempla oito caracteres:

[a] [b] [c] [d] [e] [f] [g] [h]

a, b – Caracteres de identificação do equipamento de destino (“a” é uma letra maiúscula e “b” é um número)

c – Algarismo que identifica o tipo de mensagem enviada

d – Número que indica qual o tipo de fita inserida no equipamento

e – (Passo) Algarismo que indica o número de furos da fita por componente

f – Número que identifica as luzes a acender perante a dada requisição

g, h – Quantidade de componentes a cortar (“g” é o algarismo das dezenas e o “h” das unidades)

Tipo de mensagem enviada [c]

A comunicação Arduino – Computador deverá envolver vários tipos de mensagens.

As mensagens atuais são:

[1] – Detecção de dispensadores ativos

[2] – Corte

Tipos de fita [d]

Os rolos de SMD, além de vários tamanhos e diferentes elementos elétricos, apresentam também diferentes tipos de fita. Desde o material, em que umas são de cartão e outras apresentam características plásticas, à cor, brancas ou pretas, ou até mesmo à sua terminação em que umas apresentam uma extensão de fita sem componentes (podendo esta ser da mesma cor ou não) e outras terminam com algumas alocações vazias. De forma a que o sensor faça o correto reconhecimento da fita e consiga identificar o término da mesma está associado um código, Tabela 5, que indica o seu género.

Tabela 5 - Tipo de fita e respetivo código

Tipo de fita	Código
Desligado	0
Branca – Branca	1
Preta – Branca	2
Preta – Preta	3
Sem terminação	4

Luzes [f]

Dependendo das condições em que se processa o corte, o dispensador poderá apresentar uma combinação diferente de cores dependendo, por exemplo, se a fita está a acabar, se há componentes em gaveta ou se apenas se procede ao corte. Este código de cores, Tabela 6, está definido no código da interface e resulta da leitura da base de dados do componente.

Tabela 6 - Código de cores usado na comunicação

Luzes a ligar	Código
Nenhuma	0
Verde	1
Verde + Amarela	2
Amarela	3
Verde + verMELha	4
verde + amarela + vermelha	5
Amarela + vermelha	6

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

5.1 Conclusões

O trabalho realizado cumpriu todos os requisitos impostos pela empresa: o controlo efetivo do stock, a fácil localização dos componentes em armazém e ainda a criação de um espaço reservado para componentes sobrantes.

O facto da abertura da gaveta ser detetada pelo *software*, torna o processo de reintegração dos componentes no stock muito prático, e tudo indica que os futuros utilizadores cumprirão com o desígnio deste sistema, por ser um processo bastante funcional.

Foi desenvolvida uma solução de dispensador mais automatizada do que se previa inicialmente, agilizando assim todo o processo de manipulação dos componentes em armazém.

O processo de corte da fita resulta muito bem, as lâminas são ferramentas relativamente baratas, e a peça de guiamento da guilhotina imprime a precisão necessária ao corte.

O sensor multiespectral, utilizado para controlo do final de fita, nem sempre apresenta a precisão de valores que se desejaria, isto verifica-se pelo facto do rolo de componentes não estar sobre tensão constante, observando-se por vezes deflexão da fita relativamente ao plano de medição.

O motor passo a passo escolhido, apresentou o melhor desempenho quando comparado com os testados anteriormente, mas, mostra algumas limitações na repetibilidade do processo, perdendo por vezes passos. Este é um risco inerente à utilização de um motor mais barato, mas que pode ser compensado com a correta sensorização do mesmo, controlando o sistema em malha fechada.

Foi criada uma interface entre o utilizador e o equipamento responsável pelo comando de todo o equipamento, esta conta com um ambiente muito intuitivo e prático, que processa toda a informação introduzida, quer de materiais a dispensar, quer do controlo de stock, dando garantias de um maior rigor e perceção do mesmo.

Este equipamento, foi testado e está já funcional.

5.2 Trabalhos Futuros

No futuro perspectiva-se a criação de uma PCB que incorpore o microcontrolador e todos os componentes eletrónicos usados na intermediação das operações e ainda que permita a sua alimentação, simplificando assim todo o processo relativo à cablagem.

É de extrema importância a criação de um protocolo para comunicação multiponto, de forma a possibilitar a adição de dispensadores à rede. A opção mais provável será, a introdução de um microcontrolador, com a função de *Gateway*, comunicando com o computador por USB e com os vários equipamentos de armazenamento por I²C.

Deverá também ser criada uma base de dados mais prática e interativa, em SQL, que facilite a sua manipulação fora do software.

Seria também interessante que, a partir tratamento de dados relativos aos registos dos componentes dispensados, fossem elaboradas folhas de requisição automática para reaprovisionamento de componentes, prevenindo a rotura de stock dos mesmo.

Com vista a um controlo sobre cada dispensador, poderá ser criada uma opção de avaliação da operação de corte, permitindo saber, perante sucessivas avaliações, se um modelo precisa de manutenção.

O *software* desenvolvido poderá, também, sofrer alterações, tornando-o mais interativo, em momentos como o processo de corte.

6 Referências

- [1] CeNTI. (2018, 11-Abr-2019). *Bem-Vindo ao CeNTI*. Available: <https://www.centi.pt/sobre/apresentacao-centi-nanotecnologia>
- [2] J. P. F. Novais, "Modelo de aprovisionamento de consumíveis ao centro logístico", Dissertação - FEUP, 2016.
- [3] tradefax.net, "What is WMS ? Warehouse management system (WMS)", ed, 2016.
- [4] M. C. F. d. S. P. Leite, "Apoio à implementação de sistema de gestão de armazéns (WMS)", Dissertação - FEUP, 2009.
- [5] V. Saha. (2019, 27-Maio-2019). *What is Warehouse Automation?* . Available: <https://www.camcode.com/asset-tags/what-is-warehouse-automation/>
- [6] N. Pontius. (2019, 27-Abr-2019). *The Complete Guide to Warehouse Automation: Basics of Organization and Warehouse Labeling, Automation Technologies, Best Practices, and More*. Available: <https://www.camcode.com/asset-tags/guide-to-warehouse-automation/>
- [7] O. W. Solution. (2015, 31-Maio-2019). *Get Rid of Costly Errors with a Fully Automated Warehouse*. Available: <http://onesoftware.com/get-rid-of-costly-errors-with-a-fully-automated-warehouse/>
- [8] A. M. C. d. S. Pinto, "Finalização e Exploração de um Armazém Automático Protótipo", Dissertação - FEUP, 2008.
- [9] Mecalux. (4-Maio-2019). *Transelevador trilateral automático*. Available: <https://www.mecalux.pt/armazens-automaticos-para-paletes/transelevador-trilateral-automatico>
- [10] I. Consultoria. (2011) Estocagem automática por carrosséis. *intraLOGÍSTICA*.
- [11] S. S. S. Essegi. (2018, 24-Abr-2019). *ISM UltraFlex 3600*. Available: <http://www.storagesolutions.it/en/smd-storage-ism-ultraflex-3600>
- [12] J. L. Weber and G. M. Wohlhieter, "TAPE FEEDER FOR A SURFACE MOUNT PLACEMENT SYSTEM", United States, 1998.
- [13] G. J. Daniel L. Hamilton and W. R. P. R. Spowart, Chenango, "FEEDER FOR ELECTRICAL COMPONENT SUPPLY TAPES", United States, 1988.
- [14] A. Francisco, *Motores Eléctricos*. LIVRIMPOR, 2008.
- [15] R. Marat-Mendes, "Engrenagens", F. d. A. à u. c. E. d. M. II, Ed., ed, 2012.

- [16] R. semiconductor, "Photointerrupter, Ultraminiature SMD type", R.-. Datasheet, Ed., ed, 2017.
- [17] O. Semiconductor, "Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors", ed, 2014.
- [18] BCRobotics. (2015, 5-Jun-2019). *Controlling A Solenoid Valve With Arduino*. Available: <https://www.bc-robotics.com/tutorials/controlling-a-solenoid-valve-with-arduino/>
- [19] A. B. Varotsis, "Introduction to FDM 3D printing", ed.
- [20] S. Portela. (3-Jun-2019). *Conheça as propriedades técnicas dos materiais para impressora 3D*. Available: <https://3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>
- [21] A. Thomsen. (2014, 5-Jun-2019). *O que é arduino?* Available: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>

ANEXO A: Arduino Nano

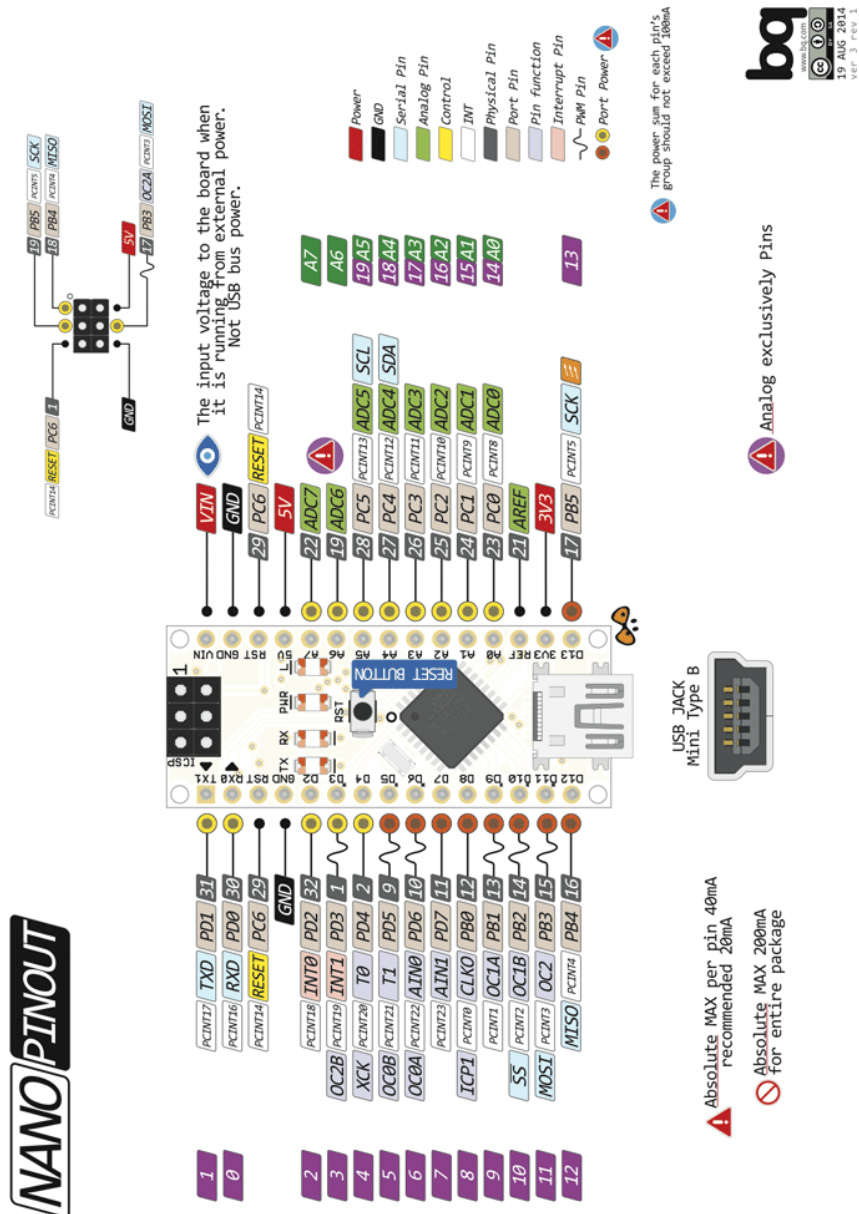


Figura 1 - Diagrama do arduino nano

Tabela 1 - Especificações do arduino

Microcontroller	Atmega328p
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7 – 12 V
Digital I/O Pins	14
PWM	6 out of 14 digital pins
Max. Current Rating	40mA
USB	Mini
Analog Pins	8
Flash Memory	16KB or 32KB
SRAM	1KB or 2KB
Crystal Oscillator	16 MHz
EEPROM	512bytes or 1KB
USART	Yes

Tabela 2 - Entradas e saídas do arduino utilizadas

Ação de controlo	Entradas / Saídas do arduino
Fim de curso (gaveta)	D2
Servomotor	D3
Solenóide	D4
LED verde	D5
LED amarelo	D6
LED Vermelho	D7
Direção do motor PaP	D8
Passos do motor PaP	D9
M0 do motor PaP	D10
M1 do motor PaP	D11
Ligar/Desligar o motor PaP (SLEEP)	D12
Sensor interruptivo (furos)	D13
Recuo do fita (manual)	A0/D14
Avanço da fita (manual)	A1/D15
Corte (manual)	A2/D16
Sensor multispectral	A4 – SDA / A5 – SCL

ANEXO B: Peças integradas no equipamento

Tabela 1 - Caracterização das peças integradas no equipamento

Quantidade	Designação	Norma	Material	Peça nº
1	Caixa exterior 1		ABS	1
1	Caixa exterior 2		ABS	2
1	Tampa da Caixa 1		ABS	3
1	Tampa da Caixa 2		ABS	4
1	Suporte do motor PaP		PLA	5
1	Guia da fita		PLA	6
1	Suporte do servo		PLA	7
2	Suporte para fim de curso		PLA	8
1	Braço de articulação		PLA	9
1	Suporte da guilhotina		PLA	10
1	Guiamento da guilhotina		PLA	11
1	Travão		PLA	12
1	Gaveta		PLA	13
1	Adaptador para bobina		PLA	14
1	Pilar para guia da fita		PLA	15
1	Base de corte		PLA	16
1	Roda dentada		PLA	17
9	Parafusos CHC M4	ISO 4762		18
10	Parafusos CHC M2	ISO 1580		19
1	Parafusos CHC M3	ISO 1580		20
4	Parafusos CBL M3	ISO 1580		21
9	Porcas H M4	ISO 4032		22

9	Porcas H M2	ISO 4032		23
1	Porcas H M2	ISO 4035		24
1	Porcas H M3	ISO 4032		25

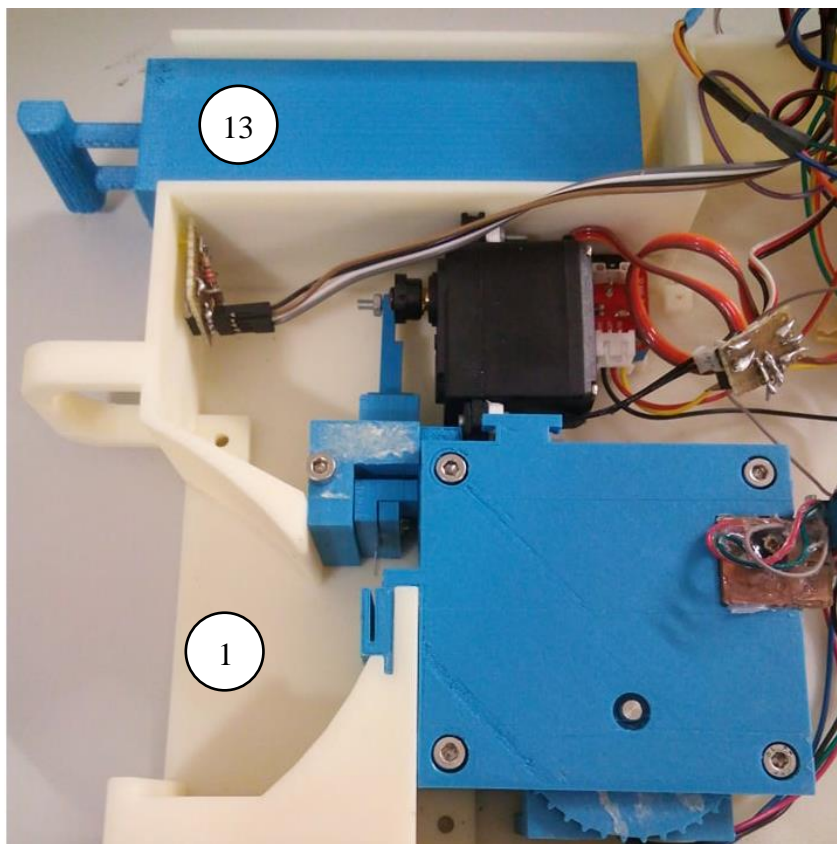


Figura 1 - Parte do dispensador com componentes integrados

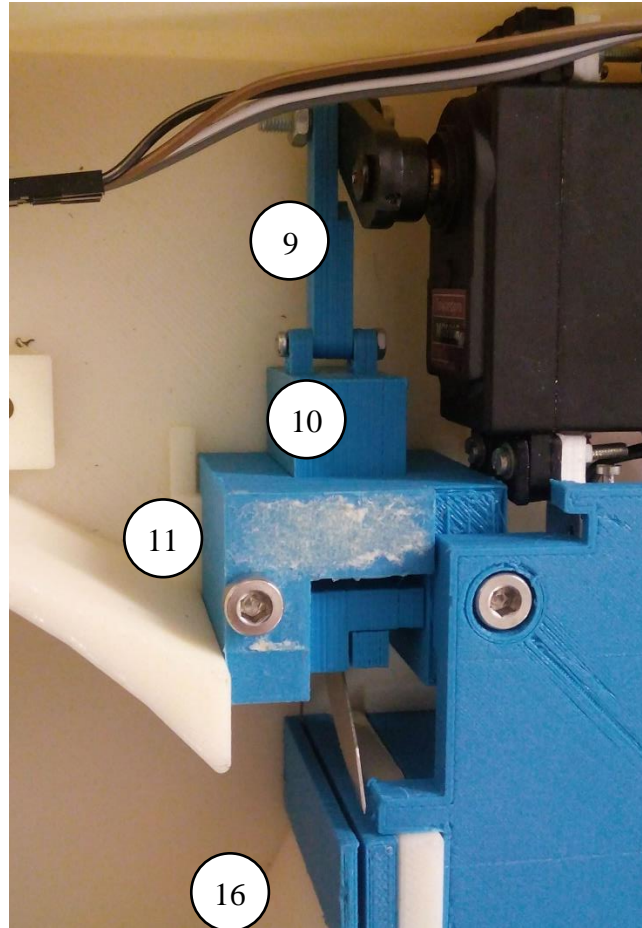


Figura 2 - Mecanismo de corte

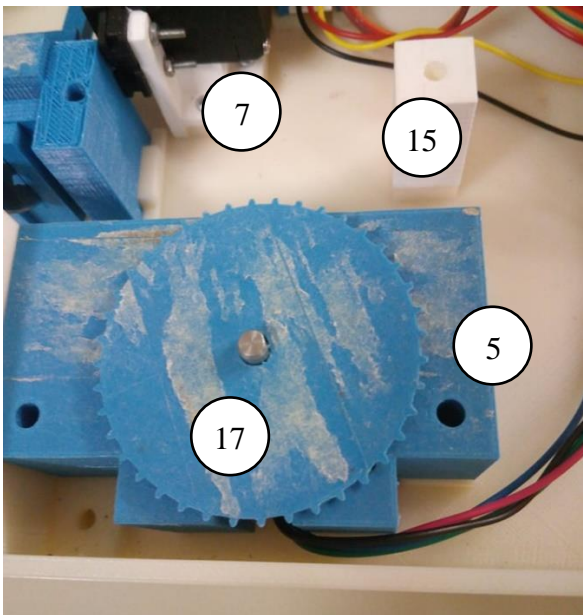


Figura 3 – Mecanismo de tração da fita

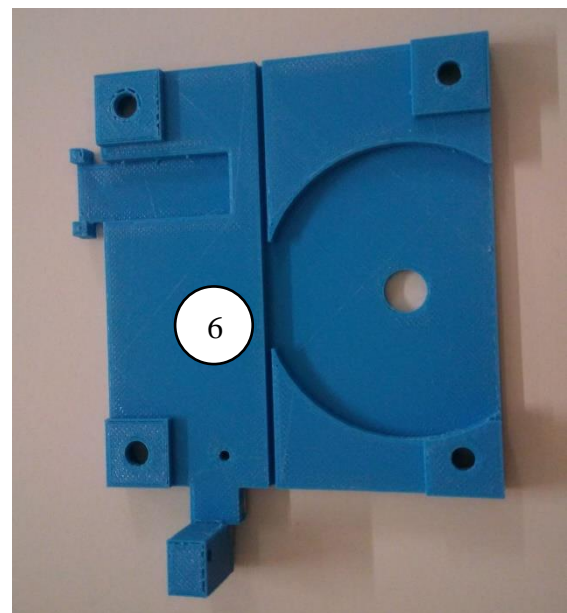


Figura 4 - Guia da fita

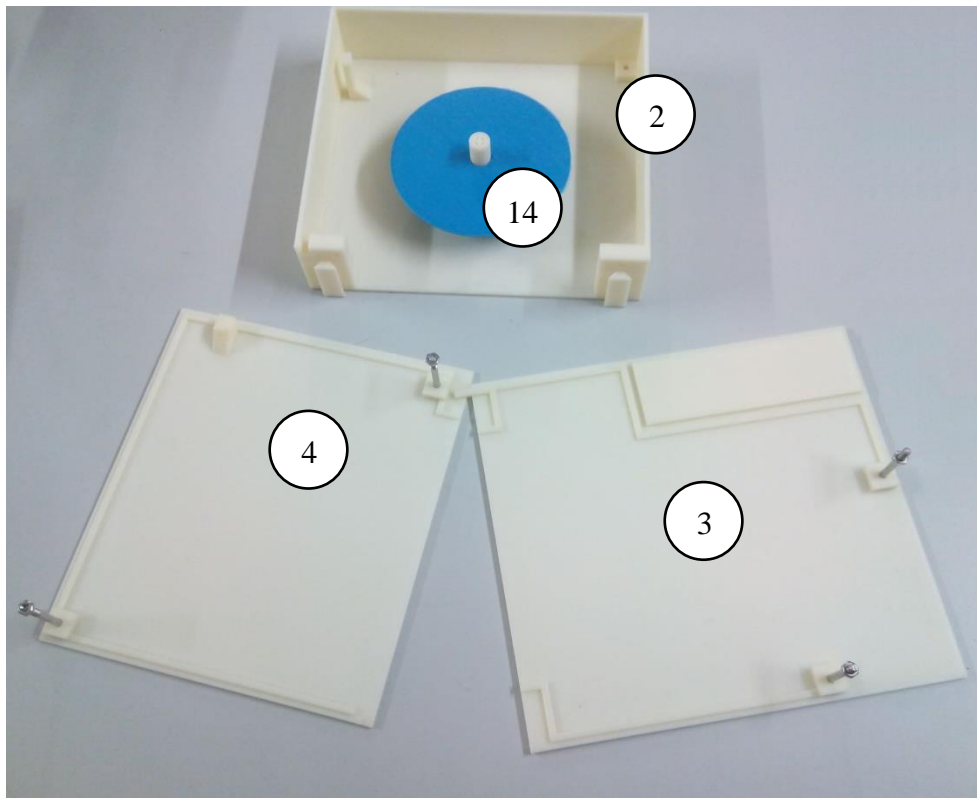


Figura 5 - Tampas e Parte da caixa que armazena o rolo

ANEXO C: Motor Passo a Passo

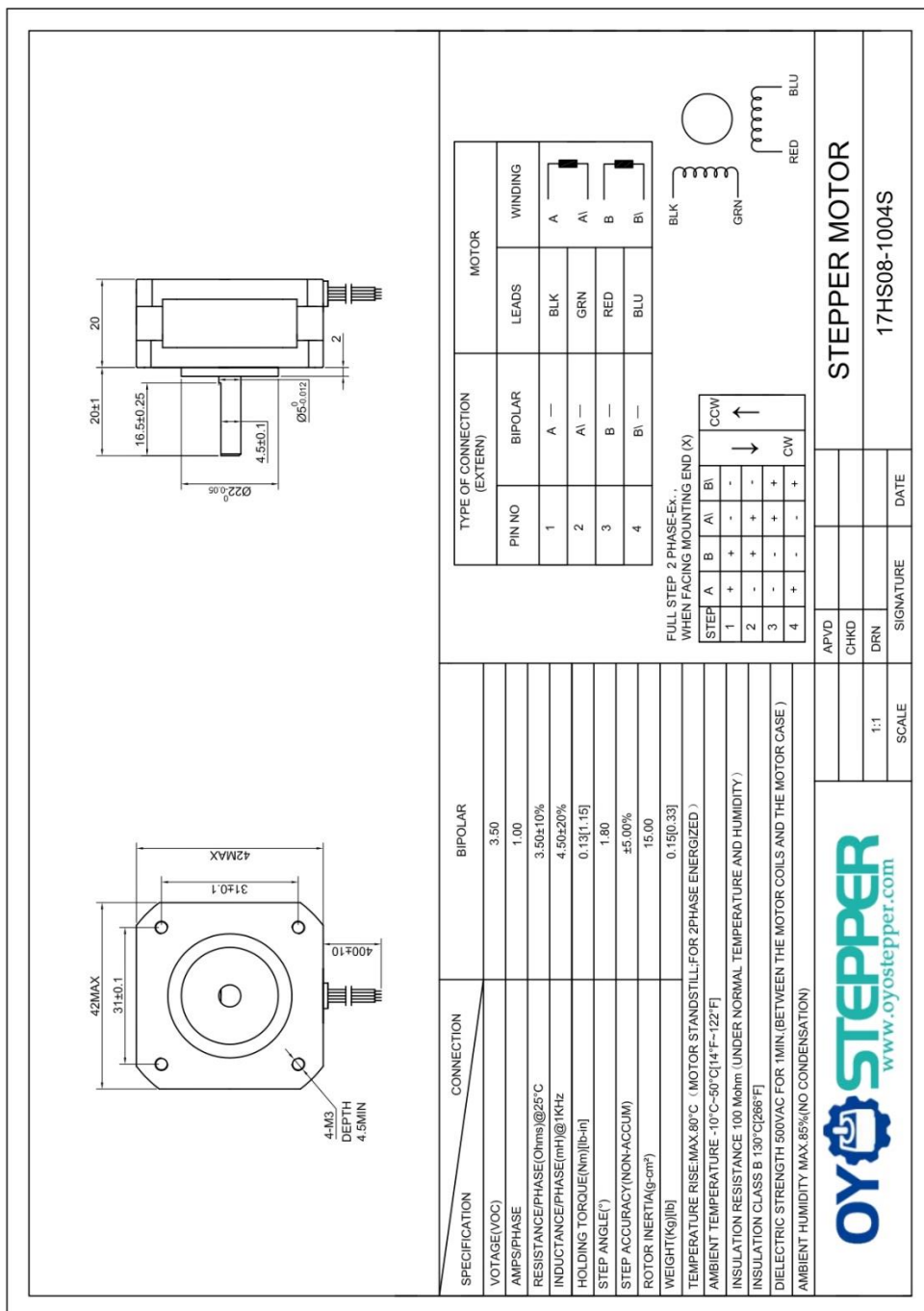


Figura 1 - Datasheet do motor passo a passo, 17HS08-1004S

ANEXO D: Ambiente de trabalho da Interface em Visual Studio 2017

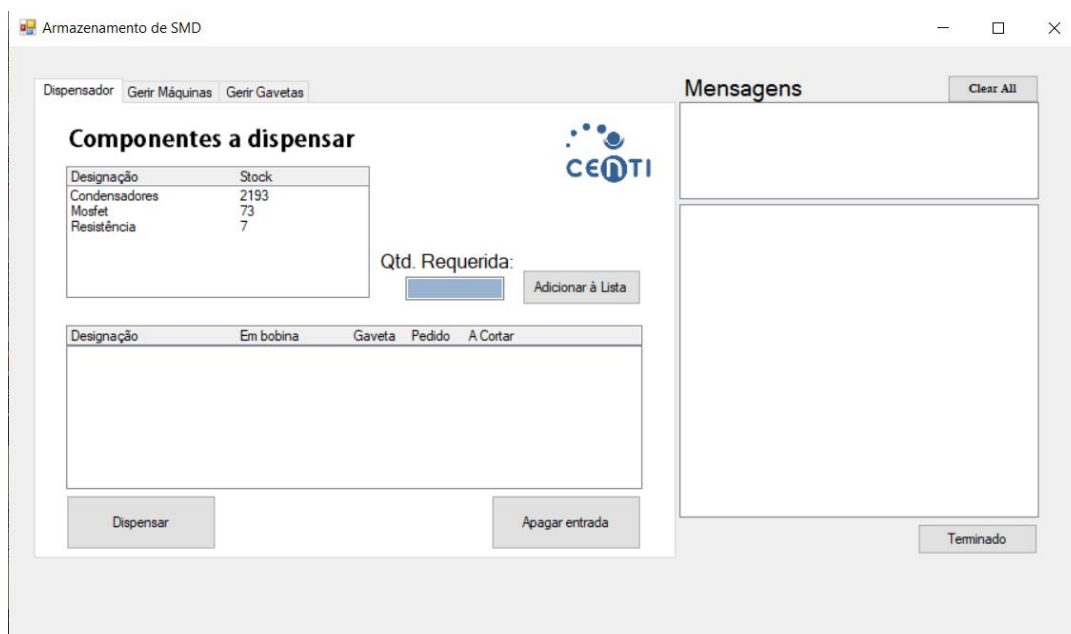


Figura 1 – Ambiente Human-Machine Interface (HMI) para requisição

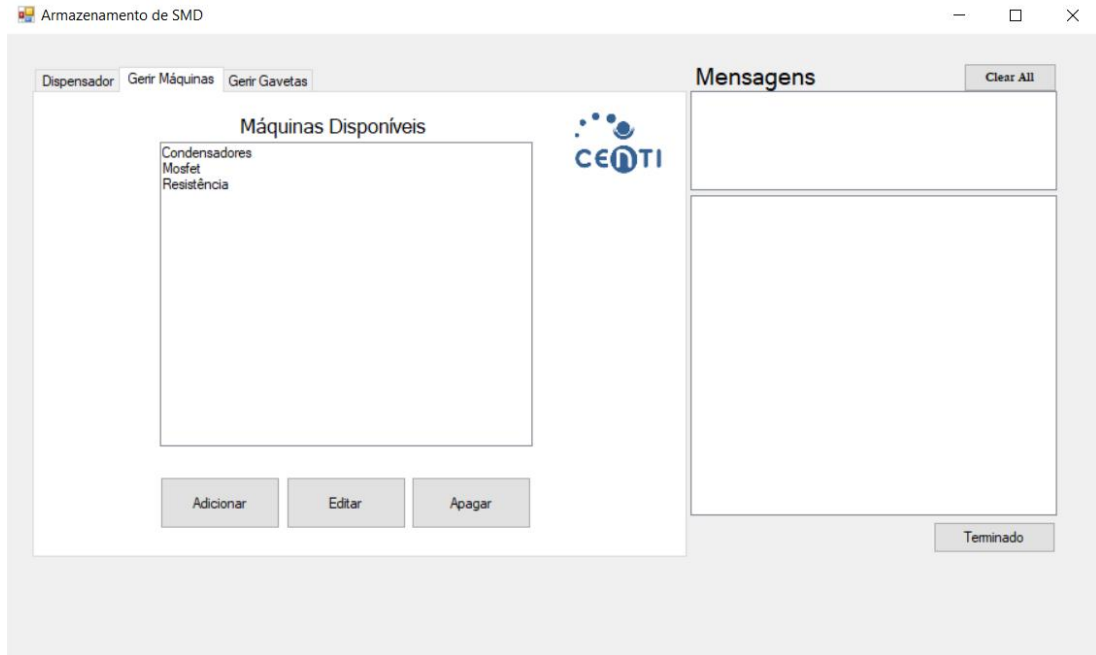


Figura 2 - Ambiente HMI de gestão de dispensadores

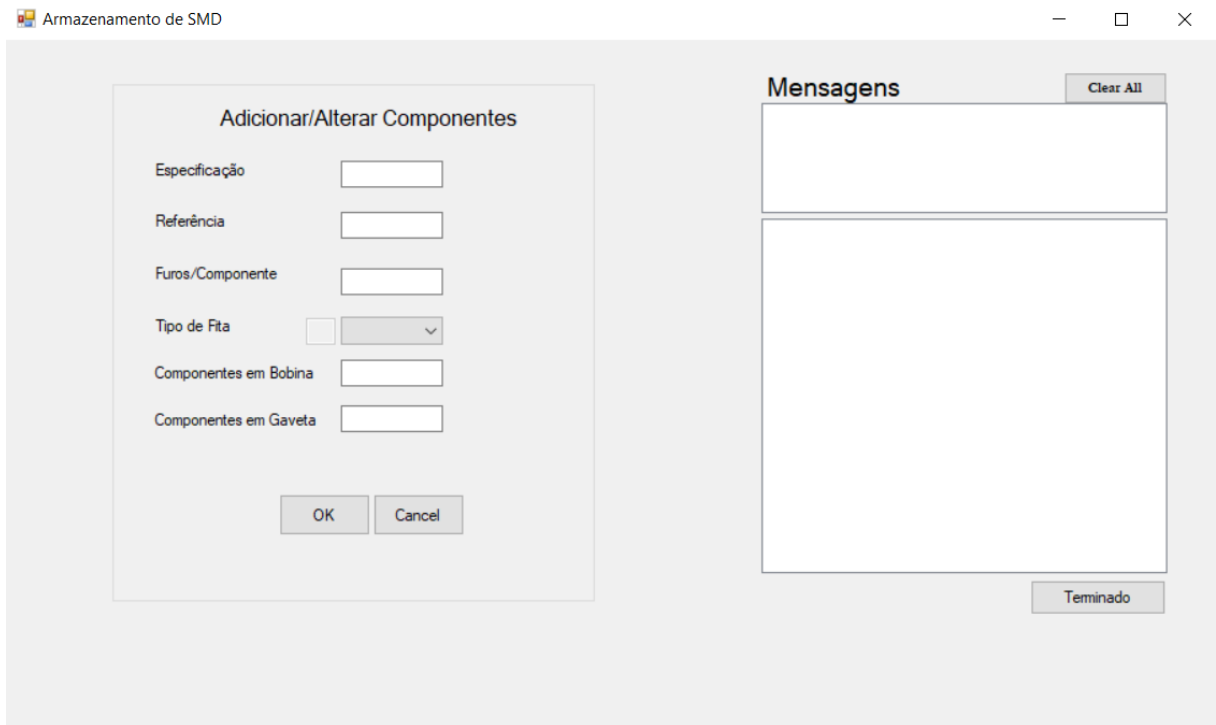


Figura 3 - Tela HMI para adicionar novos dispensadores



Figura 4 - HMI de controlo dos componentes em gaveta nos diferentes equipamentos