



**Politécnico
Castelo Branco**

Escola Superior
de Tecnologia

Robefolder Conceção e Projeto de uma Máquina para dobrar ROBES

Afonso Pedro Ascensão Brandão Estêvão

Nº 20181094

Orientador

Pedro Miguel Baptista Torres

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Pedro Miguel Baptista Torres, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

31 Agosto

Composição do júri

Presidente do júri

Professor Fernando Júlio Marques Miranda

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do IPCB

Arguente

Professor Luís Miguel Pedroso de Moura Correia

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do IPCB

Orientador

Professor Pedro Miguel Baptista Torres

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do IPCB

Resumo

O presente projeto descreve o desenvolvimento de uma máquina para dobrar robes. O objetivo principal foi criar uma solução que otimizasse o processo de dobra em lavandarias industriais, garantindo eficiência, uniformidade e redução do esforço manual.

A máquina foi concebida para reproduzir o mesmo princípio funcional das dobradoras industriais, utilizando sistemas mecânicos e elétricos. A automação do processo foi garantida essencialmente por motores de passo, controlado por Arduino, e o acionamento por sensor estrategicamente posicionado, que asseguram o funcionamento correto e em segurança durante a operação.

O funcionamento baseia-se na colocação do robe aberto sobre a área de alimentação da máquina. A partir desse ponto, o sistema sensorial é ativado através do movimento do pé do operador e as cruzetas moveis abrem para que o robe seja solto e possa progredir para o seguinte passo, sendo que existirá uma mesa móvel onde a peça estará posicionada na horizontal para que se realizem as dobras laterais de forma sequencial e padronizada. O controlo da máquina é feito por um microcontrolador (Arduino), que coordena o motor e o sensor, garantindo precisão e sincronismo.

Durante os testes realizados, verificou-se que o equipamento foi capaz de dobrar robes em tempo reduzido, com boa qualidade e repetibilidade. Comparativamente ao processo manual, houve uma clara economia de tempo e maior padronização das dobras.

Entre as vantagens observadas, destacam-se: A redução da complexidade estrutural, menor custo de produção e facilidade de manutenção. Como limitações, identificou-se a necessidade de ajustes manuais para tecidos muito espessos ou robes de dimensões não padronizadas, além de uma velocidade de operação ligeiramente inferior quando comparada a equipamentos pneumáticos de grande escala.

Em conclusão, a máquina dobradora de robes desenvolvida demonstrou ser uma alternativa viável e eficiente às soluções já existentes no mercado. Embora não possua o mesmo nível de rapidez de modelos industriais pneumáticos, o projeto mostrou que é possível alcançar bons resultados com um sistema puramente mecânico e elétrico. O protótipo representa um passo importante na automação acessível para lavanderias de médio porte, com potencial de evolução em futuras versões, integrando melhorias em sensores, velocidade e ergonomia de utilização.

Abstract

This project describes the development of a machine for folding robes. The main objective was to create a solution that would optimize the folding process in industrial laundries, ensuring efficiency, uniformity, and reduced manual effort.

The machine was designed to reproduce the same functional principle as industrial folding machines, using mechanical and electrical systems. The automation of the process was essentially ensured by stepper motors, controlled by Arduino, and the strategically positioned sensor drive, which ensures correct and safe operation during operation.

The operation is based on placing the open robe on the machine's feed area. From that point, the sensory system is activated by the movement of the operator's foot and the movable crossbars open so that the robe is released and can progress to the next step, where there will be a movable table where the garment will be positioned horizontally so that the side folds can be made in a sequential and standardized manner. The machine is controlled by a microcontroller (Arduino), which coordinates the motor and sensor, ensuring precision and synchronization.

During the tests carried out, it was found that the equipment was able to fold robes in a short time, with good quality and repeatability. Compared to the manual process, there was a clear time saving and greater standardization of the folds.

Among the advantages observed, the following stand out: reduced structural complexity, lower production cost, and ease of maintenance. Limitations identified include the need for manual adjustments for very thick fabrics or gowns of non-standard sizes, as well as a slightly lower operating speed when compared to large-scale pneumatic equipment.

In conclusion, the developed robe folding machine proved to be a viable and efficient alternative to existing solutions on the market. Although it does not have the same speed as industrial pneumatic models, the project showed that it is possible to achieve good results with a purely mechanical and electrical system. The prototype represents an important step in affordable automation for medium-sized laundries, with potential for evolution in future versions, integrating improvements in sensors, speed, and ergonomics of use.

Índice geral

Composição do júri.....	III
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Índice geral.....	VII
Índice de figuras.....	IX
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos.....	X
1. Introdução.....	1
2. Enquadramento.....	3
2.1. Processos tradicionais de dobragem.....	3
2.2. Máquinas dobradoras existentes.....	3
2.3. Tecnologias aplicadas na automação de processos.....	4
2.4. Justificação do projeto.....	4
2. Planeamento.....	5
2.1. Estruturação das fases do projeto.....	5
2.2. Cronograma.....	6
3. Metodologia de Desenvolvimento.....	7
3.1. Estrutura.....	7
3.2. Estrutura (Imagens).....	8
3.2.1. Estrutura (Imagens).....	9
3.2.2. Estrutura (Imagens).....	10
3.3.1. Sistema elétrico.....	11
3.3.2. Sistema elétrico (imagens).....	12
3.4.1. Funcionamento.....	13
3.4.2. Funcionamento (imagens).....	14
4. Testes e Resultados.....	15
4.1. Ensaios iniciais.....	15
4.2. Ensaios iniciais.....	16
4.3. Imagens motores de passo.....	17
5. Discussão.....	19
6. Conclusão.....	20

7. Anexos	21
8. Referências	22

Índice de figuras

Figura 1 - Primeira estrutura	8
Figura 2 - Caixa com mecanismo (vista frontal)	8
Figura 3 - Estrutura já com extensão de comprimento e porta movel apoiada na guia	9
Figura 4 - Estrutura já com a mesa movel colocada, fixa em duas chumaceiras	10
Figura 5 - Quadro elétrico.....	12
Figura 6 - Disjuntor diferencial Hager (40 A / 30 mA) e Disjuntor magnetotérmico Efapel (C10)	12
Figura 7 - Máquina finalizada.....	14
Figura 8 - Motor passo com gearbox Nema 23	17
Figura 9 - Motor passo Nema 34	17
Figura 10 - Motor de passo com encoder Nema 23	18

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

AC – Corrente Alternada

DC – Corrente Contínua (Direct Current)

Nm – Newton-metro (unidade de binário/torque)

PPR – Pulses Per Revolution (Pulsos por Rotação)

CPR – Counts Per Revolution (Contagens por Rotação)

VDC – Volts de Corrente Contínua

A – Ampere (unidade de corrente elétrica)

mA – Miliampere

CNC – Computer Numerical Control (Controlo Numérico Computorizado)

HC-SR04 – Sensor ultrassónico de distância (referência do modelo)

STEP/DIR – Interface de comando de drivers de motor (Step/Direction)

NEMA – National Electrical Manufacturers Association (padrão de motores)

Arduino – Plataforma de prototipagem eletrónica baseada em microcontrolador

m/s – Metros por segundo

Hz – Hertz (unidade de frequência)

1. Introdução

A indústria, enfrenta diariamente o desafio de processar grandes volumes de roupas e tecidos num curto espaço de tempo, garantindo simultaneamente eficiência, qualidade e padronização. Entre as diversas etapas que compõem o ciclo de tratamento de roupas em lavandarias industriais, a dobragem ocupa um papel fundamental, uma vez que influencia diretamente a apresentação do produto final, o aproveitamento do espaço e a preparação para a sua utilização.

Tradicionalmente, a dobra de robes, é realizada manualmente por operadores especializados. Este método, embora simples, apresenta desvantagens significativas: é moroso, exige esforço físico repetitivo, está sujeito a variações no padrão de dobra e pode gerar inconsistências na qualidade final. Estas limitações tornam-se mais evidentes em ambientes com elevada procura, sendo que a rapidez e a uniformidade são fatores críticos.

Nesse cenário, a automação surge como uma resposta eficiente às necessidades do setor. O desenvolvimento de máquinas dobradoras permite não apenas acelerar o processo, mas também reduzir a fadiga dos trabalhadores, melhorar a ergonomia no trabalho e assegurar resultados consistentes. Tendo em conta estas vantagens, foi desenvolvido o presente projeto, cujo objetivo principal foi a criação de uma máquina capaz de dobrar robes de forma quase automática, combinando simplicidade estrutural, fiabilidade e baixo custo de produção.

A máquina proposta foi concebida com base em sistemas mecânicos e elétricos, utilizando motores de passo, sensores e um microcontrolador Arduíno como unidade central de controlo. O seu funcionamento inicia-se com a colocação do robe aberto na área de alimentação. O operador aciona o processo através de um sensor, posicionado estrategicamente para garantir segurança e praticidade. Em seguida, o robe é conduzido até uma mesa móvel, onde as cruzetas e os mecanismos de dobra realizam a sequência de movimentos necessários para alcançar um resultado padronizado e uniforme.

O projeto foi estruturado de modo a responder a três objetivos principais: otimização do tempo de operação, redução da variabilidade humana no processo de dobra e desenvolvimento de um protótipo acessível a pequenas e médias lavandarias. Com a realização de testes, verificou-se que a máquina foi capaz de reduzir significativamente o tempo de dobra e aumentar a consistência do resultado final, revelando-se uma alternativa prática ao processo manual.

Assim, este projeto não apenas contribui para a melhoria dos processos em lavandarias industriais, como também abre espaço para a evolução de soluções automatizadas acessíveis, com possibilidade de adaptações e melhorias contínuas.

2. Enquadramento

A indústria das lavandarias industriais enfrenta o desafio de processar grandes quantidades de peças têxteis em curtos períodos, garantindo simultaneamente qualidade, ergonomia e padronização. Entre as várias etapas do processo, a dobragem assume especial relevância, pois influencia diretamente a apresentação final, o aproveitamento do espaço e a preparação para transporte e utilização.

2.1. Processos tradicionais de dobragem

Tradicionalmente, a dobragem é realizada manualmente por operadores. Apesar da simplicidade e do baixo custo inicial, este método apresenta limitações significativas: elevado esforço físico repetitivo, baixa eficiência em ambientes de alta procura e falta de consistência na padronização. Além disso, a dependência do fator humano aumenta a probabilidade de erros e variações de qualidade.

2.2. Máquinas dobradoras existentes

Com o avanço tecnológico, surgiram máquinas dobradoras industriais de grande escala, geralmente pneumáticas, capazes de atingir elevada velocidade e precisão. Contudo, estas soluções apresentam custos elevados de aquisição e manutenção, complexidade estrutural. Este tipo de tecnologia, embora eficiente, acaba por ser inacessível para lavandarias de pequena e média dimensão, criando uma lacuna no mercado para soluções intermédias e mais acessíveis.

2.3. Tecnologias aplicadas na automação de processos

A automação de processos industriais tem evoluído significativamente, apoiada em controladores programáveis, sensores e atuadores que permitem reduzir a intervenção humana e aumentar a eficiência. No desenvolvimento de protótipos de baixo custo, três elementos tecnológicos destacam-se:

Motores de passo: permitem movimentos precisos e controlados, sendo amplamente utilizados em automação.

Sensores: fundamentais para a deteção de presença, posicionamento e acionamento seguro dos mecanismos.

Microcontroladores Arduino: pela sua flexibilidade, acessibilidade e vasta comunidade de suporte, são uma das plataformas mais utilizadas em prototipagem de sistemas mecatrónicos.

Estas tecnologias contribuem para criar soluções robustas e acessíveis, respondendo às necessidades de otimização e ergonomia no setor industrial.

2.4. Justificação do projeto

Face às limitações do processo manual e ao elevado custo das soluções industriais, torna-se evidente a necessidade de alternativas que conciliem acessibilidade, padronização e eficiência. O projeto RobeFolder surge como uma proposta inovadora nesse contexto, explorando a automação com recurso a tecnologias mecânicas e elétricas de baixo custo. Desta forma, o protótipo posiciona-se como uma solução intermédia que pode beneficiar lavandarias de média dimensão, respondendo ao desafio de tornar a automação mais democrática.

2. Planeamento

O desenvolvimento do projeto RobeFolder foi estruturado de forma a assegurar uma execução organizada e coerente, permitindo acompanhar a evolução das atividades e garantir o cumprimento dos objetivos definidos. O planeamento contemplou a definição das fases de trabalho, a distribuição temporal das tarefas e a adoção de ferramentas de gestão que possibilitaram monitorizar os progressos e ajustar estratégias sempre que necessário.

2.1. Estruturação das fases do projeto

O projeto foi dividido em quatro fases principais:

Recolha e análise de informação

- Estudo do processo de dobragem manual em lavandarias.
- Análise de máquinas dobradoras existentes no mercado.
- Levantamento de requisitos técnicos e funcionais para o protótipo.

Conceção e desenvolvimento da solução

- Definição da arquitetura da máquina e dos mecanismos de dobra.
- Seleção dos componentes elétricos e eletrónicos (motores, sensores, microcontrolador).
- Elaboração de esquemas e desenhos técnicos.

Construção e implementação do protótipo

- Montagem da estrutura mecânica.
- Integração do sistema eletrónico de controlo.
- Programação do microcontrolador.

Testes, validação e melhorias

- Ensaios de funcionamento.
- Avaliação do desempenho face ao processo manual.
- Identificação de limitações e propostas de melhorias futuras.

2.2. Cronograma

O planeamento temporal do projeto foi distribuído ao longo de aproximadamente seis meses, de acordo com o seguinte esquema:

Mês 1: pesquisa, levantamento de requisitos e conceção inicial.

Mês 2: seleção de materiais e componentes, desenvolvimento dos esquemas técnicos.

Mês 3-4: construção da estrutura mecânica e montagem parcial.

Mês 4-5: integração eletrónica e programação do microcontrolador.

Mês 6: realização de testes, validação e apresentação dos resultados.

3. Metodologia de Desenvolvimento

3.1. Estrutura

A estrutura da máquina RobeFolder foi concebida de forma a garantir robustez, estabilidade e simplicidade de construção, recorrendo a materiais acessíveis e técnicas convencionais de fabrico.

A base do equipamento foi construída a partir de chapa metálica, cortada manualmente com recurso a uma rebarbadora. As diferentes partes da chapa foram unidas através de soldadura com elétrodo revestido 6013, garantindo resistência e durabilidade ao conjunto.

Para reforço estrutural e melhor sustentação, foram utilizadas cantoneiras metálicas, adquiridas especificamente para este fim. Estas cantoneiras foram soldadas tanto na base como nas laterais da caixa metálica, aumentando a rigidez da estrutura e permitindo suportar os esforços resultantes do funcionamento da máquina.

Adicionalmente, foi construída uma mesa móvel, projetada para sustentar o robe numa posição ergonómica, facilitando a colocação da peça e o posterior processo de dobragem. Esta mesa foi acoplada a uma estrutura de suporte, que lhe confere mobilidade entre duas posições distintas:

- Posição de espera, onde a mesa fica na posição vertical, à espera de ser colocada na posição de alimentação.
- Posição de alimentação, onde o operador movimenta a mesa para dar início ao ciclo de transporte do robe da posição vertical para a horizontal.
- Posição de execução, onde o robe permanece durante a execução das dobras, já na posição horizontal.

O conjunto estrutural foi projetado de modo a oferecer simultaneamente resistência, ergonomia e simplicidade de utilização, assegurando que o operador possa interagir com a máquina de forma intuitiva e segura.

3.2. Estrutura (Imagens)



Figura 2 - Caixa com mecanismo (vista frontal)



Figura 1 - Primeira estrutura

3.2.1. Estrutura (Imagens)



Figura 3 - Estrutura já com extensão de comprimento e porta movel apoiada na guia

3.2.2. Estrutura (Imagens)



Figura 4 - Estrutura já com a mesa movel colocada, fixa em duas chumaceiras

3.3.1. Sistema elétrico

O sistema elétrico e eletrónico da máquina RobeFolder foi projetado para garantir segurança, fiabilidade e coordenação entre os diferentes componentes de potência, controlo e deteção.

A alimentação principal passa por um disjuntor diferencial Hager (40 A / 30 mA), responsável pela proteção contra fugas à terra, e por um disjuntor magnetotérmico Efel (C10), que assegura a proteção contra sobrecargas e curto-circuitos. Estes dispositivos conferem segurança ao operador e aos equipamentos.

Para o fornecimento de energia foram utilizadas duas fontes independentes:

Mean Well EDR-75-12 (12 V DC), dedicada ao Arduino e ao sensor ultrassónico.

Fonte de 50 V DC, responsável pela alimentação do driver e do motor de passo.

O acionamento mecânico é realizado por um motor de passo NEMA 23 de malha fechada (closed-loop), integrado num kit CNC de 3,0 Nm. Este motor inclui um encoder que fornece feedback em tempo real ao driver híbrido digital, permitindo corrigir desvios de posição e eliminando o risco de perda de passos. O driver recebe sinais STEP/DIR do Arduino e gere a potência fornecida ao motor, com proteções internas contra sobrecarga, sobretensão e sobreaquecimento.

O microcontrolador Arduino atua como unidade central, processando os sinais do sensor ultrassónico HC-SR04 e enviando os comandos ao driver.

Todos os componentes foram instalados num quadro elétrico metálico, que assegura organização das ligações, ventilação adequada e proteção mecânica. As cablagens de fase, neutro e terra encontram-se devidamente distribuídas, e toda a estrutura está ligada à terra para reforço da segurança.

3.3.2. Sistema elétrico (imagens)



Figura 5 - Quadro elétrico



Figura 6 - Disjuntor diferencial Hager (40 A / 30 mA) e Disjuntor magnetotérmico Efapel (C10)

3.4.1. Funcionamento

O processo de operação da máquina RobeFolder inicia-se com o posicionamento do robe nas cruzetas móveis. Após esta colocação, a mesa móvel é deslocada até se alinhar com o robe, garantindo estabilidade para o processo de dobra.

Quando o operador se encontra pronto, este aciona com o pé o sensor ultrassónico HC-SR04, ao mesmo tempo que segura o robe contra a mesa para evitar o seu deslocamento. Este sinal é processado pelo Arduíno, que envia o comando ao driver para acionar o motor.

O motor de passo NEMA 23 closed-loop está ligado a um fuso de esferas e a uma guia linear. A guia encontra-se ligada a dois cabos de aço, cada um conectado a uma cruzeta. Quando o motor gira o fuso, a guia linear desloca-se, tracionando os cabos através de um sistema de quatro roldanas (duas para cada lado). Este movimento provoca a abertura das cruzetas, que soltam o robe para que possa prosseguir para a dobragem.

Para o retorno à posição inicial, o sistema não depende só do motor, tem duas molas de retração (uma por cada cruzeta) que asseguram o movimento contrário, trazendo as cruzetas de volta à posição de origem de forma controlada e eficiente.

Assim, o processo combina acionamento motorizado no movimento de abertura e retração mecânica assistida por molas.

3.4.2. Funcionamento (imagens)



Figura 7 - Máquina finalizada

4. Testes e Resultados

4.1. Ensaios iniciais

O desenvolvimento do protótipo envolveu uma fase experimental com diferentes motores de passo, com o objetivo de identificar a solução mais adequada em termos de binário e velocidade.

Primeira opção – NEMA 17 com redutor planetário:

Nos primeiros ensaios foi utilizado um motor NEMA 17 com caixa de redução planetária. Apesar de apresentar um bom torque graças à redução, a velocidade obtida não era suficiente para cumprir o percurso necessário no tempo pretendido, inviabilizando a sua aplicação.

Segunda opção – NEMA 34:

De seguida, foi testado um motor NEMA 34. Embora este motor tivesse maior capacidade dimensional, revelou-se incapaz de vencer a força das molas quando estas se encontravam na extensão máxima. Consequentemente, não conseguiu garantir o movimento completo das cruzetas.

Após estes testes, concluiu-se que era necessário um motor com maior binário útil, mas que também assegurasse uma velocidade adequada para o ciclo de operação. A escolha recaiu sobre:

Motor: 23HS40-5004D-E1000 (S Series NEMA 23 Closed Loop Stepper Motor, 3.0 Nm, encoder 1000 PPR / 4000 CPR).

Driver: CL57Y (Y Series Closed Loop Stepper Driver, 0–7.0 A, 24–50 VDC).

Esta configuração, além de garantir potência suficiente para vencer a resistência das molas, assegurou a precisão posicional através do encoder e do controlo em malha fechada, eliminando o risco de perda de passos.

4.2. Ensaios iniciais

Com o motor NEMA 23 closed-loop, o sistema atinge o trajeto completo em aproximadamente 5 segundos, valor considerado viável para a aplicação. O movimento das cruzetas ocorre de forma fluida e controlada, e as molas asseguram o retorno eficiente à posição inicial.

A qualidade das dobras obtidas mostrou-se consistente e repetível, mantendo o robe alinhado durante todo o processo. O acionamento por sensor ultrassónico também contribuiu para maior ergonomia, permitindo ao operador iniciar o ciclo sem recorrer a botões manuais.

Tempo: o processo manual é variável, mas em média requer mais de 10 segundos por robe, dependendo da destreza do operador. O protótipo reduziu este tempo para cerca de 5 segundos, garantindo maior produtividade.

Qualidade: manualmente, a qualidade da dobra pode ser irregular. No protótipo, a padronização do movimento assegura um resultado uniforme em todos os ciclos.

Esforço físico: no método manual, o operador exerce esforço constante nos braços e tronco. No protótipo, o esforço reduz-se apenas à colocação inicial e acionamento, promovendo melhor ergonomia.

4.3 Imagens motores de passo



Figura 8 - Motor passo com gearbox Nema 23



Figura 9 - Motor passo Nema 34



Figura 10 - Motor de passo com encoder Nema 23

5. Discussão

O protótipo desenvolvido demonstrou viabilidade funcional, conseguindo reduzir o tempo de dobra em comparação com o processo manual e assegurando maior padronização e ergonomia.

No entanto, alguns aspetos foram identificados como potenciais pontos de melhoria e devem ser considerados em trabalhos futuros.

Uma das limitações atuais é o facto de o sistema realizar apenas uma etapa de dobra. Para garantir uma maior compactação e aproximação ao resultado final desejado, seria benéfico introduzir uma etapa adicional de dobra diretamente na mesa móvel, permitindo que o robe seja manipulado em mais do que um eixo.

Outra possibilidade a considerar é a substituição do acionamento mecânico por um sistema pneumático, cuja análise de viabilidade poderia revelar vantagens em termos de velocidade de atuação, simplicidade construtiva e redução de esforços sobre os motores elétricos. Adicionalmente, a segurança e precisão do movimento poderiam ser reforçadas com a inclusão de switch stops (interruptores de fim de curso), que limitariam fisicamente o percurso das cruzetas e da mesa, evitando sobrecargas e aumentando a confiabilidade do sistema.

Por fim, a automatização do deslocamento da mesa móvel representa uma evolução natural do protótipo, reduzindo ainda mais a necessidade de intervenção do operador e aproximando o equipamento de uma solução semiautomática de maior produtividade.

Algumas peças possam ser feitas com outro tipo de material, mais reforçado numas zonas, ou então em impressão 3D.

Em suma, embora o protótipo tenha cumprido os objetivos estabelecidos, as melhorias identificadas evidenciam um potencial significativo de evolução, tanto em termos de desempenho como de ergonomia e segurança.

6. Conclusão

O projeto RobeFolder demonstrou que é possível desenvolver uma máquina funcional, simples e acessível para a dobragem de robes em lavandarias de pequena e média dimensão. O protótipo cumpriu os objetivos principais: reduziu o tempo de operação, garantiu maior uniformidade nas dobras e melhorou a ergonomia para o operador, quando comparado com o processo manual tradicional.

Os testes confirmaram a fiabilidade do sistema e evidenciaram vantagens como a redução da complexidade estrutural, o baixo custo de produção e a facilidade de manutenção. Ainda assim, foram identificadas algumas limitações, nomeadamente a necessidade de ajustes manuais e a realização manual de apenas uma etapa de dobra.

Estas conclusões reforçam a importância do RobeFolder como alternativa prática às soluções industriais de maior escala e custo elevado. Além disso, o projeto abre espaço para evoluções futuras, como a introdução de novos sistemas de acionamento, a automatização da mesa móvel e a melhoria dos mecanismos de segurança e ergonomia.

Em síntese, o RobeFolder constitui um passo relevante para a democratização da automação no setor das lavandarias industriais, evidenciando que a combinação de eficiência, simplicidade e baixo custo é uma via promissora para a modernização destes processos.

7. Anexos

Vídeo 1 – Movimento das cruzetas.

Vídeo 2 – Movimento das cruzetas tracionadas pelo cabo de aço.

Vídeo 3 – Primeiro teste do motor sendo acionado pela deteção do movimento do sensor.

Vídeo 4 – Primeiro teste do funcionamento do motor acoplado ao fuso e guia linear.

Vídeo 5 - Movimento da mesa móvel, e fixação de posição.

Vídeo 6 – Primeiro teste do funcionamento da máquina, ainda com falta de ajustes para melhor performance.

Vídeo 7 – Funcionamento da máquina.

8. Referências

- Arduino. (2023). Arduino Uno Rev3. Arduino Documentation. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- Allegro Microsystems. (2019). Stepper motor driver IC basics. Application Note. <https://www.allegromicro.com>
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). Getting started with Arduino (3rd ed.). Maker Media.
- Baptista, A. V., & Matos, J. (2019). Automação em lavandarias industriais: Desafios e oportunidades. *Revista Portuguesa de Engenharia Industrial*, 12(3), 45–58.
- Efapel. (2020). Disjuntores magnetotérmicos série C10. Efapel. <https://www.efapel.pt>
- Hager. (2020). Catálogo disjuntores diferenciais. Hager. <https://www.hager.pt>
- Jensen Group. (2020). Industrial laundry technology: Folding machines and automation systems. Jensen Group. <https://www.jensen-group.com>
- Mean Well. (2021). EDR-75 Series Datasheet. Mean Well. <https://www.meanwell.com>
- Murata, K., & Yamada, H. (2018). *Mechatronics: Principles, technologies and applications*. Springer.
- Petruzzellis, T. (2011). *Arduino + Kinect projects: Design, build, blow their minds*. McGraw-Hill.
- Texas Instruments. (2016). Stepper motor basics. Application Report. <https://www.ti.com/lit/an/sloa132/sloa132.pdf>