

# Desenvolvimento de um Sistema Automático de Eliminação de Rugas

*Flávio José Salgueiro Cunha*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Joaquim Gabriel Magalhães Mendes

Orientador na Continental – ITA, S.A.: Eng.º Joaquim Rocha



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

**Especialização em Automação**

Setembro de 2017



## Resumo

Na Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A., é produzido um dos componentes mais importantes na constituição dos pneus: a tela que constitui a carcaça. Esta tela é sujeita a uma impregnação e várias etapas de tratamento térmico numa só máquina, sendo que o percurso realizado pela mesma do início até ao final do tratamento é de cerca de 500 m, passando por 7 estufas.

Durante todo esse trajeto, devido a diversos fatores como, por exemplo, vibrações e curvas realizadas no percurso, surgem rugas no tecido e, por causa da elevada tensão a que este está sujeito, são criados vincos definitivos, ou mesmo rasgos que inviabilizam a utilização do rolo que está a ser tratado.

Neste trabalho, o objetivo foi analisar os mecanismos de eliminação de rugas já existentes na máquina e, posteriormente, criar um protótipo que permitisse esticar a tela de modo a eliminar o problema.

A criação deste protótipo passou pelo projeto do dispositivo, a escolha dos atuadores, a aquisição de todos os componentes necessários à sua automatização, a programação e o desenvolvimento de uma HMI intuitiva para todos os operadores que controlam o sistema.



## **Automatic Wrinkle Elimination System**

### **Abstract**

At Continental - Indústria Têxtil do Ave S.A., one of the most important components in the construction of tires is produced: the fabric that constitutes the carcass.

This screen is subjected to a dipping process and several steps of heat treatment in a single machine, and the route taken by it from the beginning to the end of the treatment is about 500m, passing through 7 ovens.

Throughout this course, due to several factors such as vibrations and curves performed in the course, wrinkles appear in the fabric and, because of the high tension to which it is subject, definitive creases or even tears are created that ruin its quality and it can no longer be used.

In this project, the objective was to analyze the mechanisms of elimination of wrinkles already existing in the machine and, later, to create a prototype that solved the problems that they contained.

The creation of this prototype went through the definition of the system layout, the choice of the actuators, the acquisition of all the components necessary for its automation, the programming and the development of an intuitive HMI for all the operators that control the system.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradecer à Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A., por proporcionar a oportunidade da realização desta dissertação no âmbito empresarial.

Ao Eng<sup>o</sup> Joaquim Rocha pela orientação ao longo de todo o projeto e por todo o conhecimento transmitido que será extremamente útil durante o meu percurso profissional.

Ao Eng<sup>o</sup> Diogo Nunes, ao Eng<sup>o</sup> Rafael Castro e também ao Eng<sup>o</sup> José Osório, pela ajuda em todas as tarefas relativas ao meu projeto e também pela forma como me receberam na empresa.

A todos os membros da FEUP que de uma forma ou de outra ajudaram no desenvolvimento deste projeto, em especial ao Prof. Joaquim Gabriel pelo acompanhamento de todo o processo e pela disponibilidade para me ajudar.

Aos meus colegas de estágio que sempre se mostraram dispostos a ajudar-me, com o conhecimento das diversas áreas de estudo de cada um e, para além disso, pelo bom ambiente criado por estes no escritório.

Por fim, mas não menos importante, aos meus pais, que sempre me apoiaram em tudo o que faço e, sem eles, a realização desta dissertação não seria, certamente, possível.





# Índice de Conteúdos

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização .....	1
1.2	Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A. ....	2
1.3	Objetivos do projeto .....	3
1.4	Metodologia .....	4
1.5	Estrutura da dissertação .....	5
<b>2</b>	<b>Processo Produtivo da Tela para Pneus .....</b>	<b>7</b>
2.1	Produção das Cordas .....	7
2.2	Produção da Tela.....	8
2.3	Impregnação da Tela.....	8
<b>3</b>	<b>Definição do Problema .....</b>	<b>11</b>
3.1	Formação de Rugas .....	11
3.2	Mecanismos Existentes .....	11
3.2.1	“Full Width Spreader” .....	12
3.2.2	“Duo Expander” .....	12
3.2.3	“Cogumelos” Metálicos.....	13
3.2.4	Rolos Espiralados .....	13
3.3	Problemas a resolver .....	15
<b>4</b>	<b>Projeto do sistema .....</b>	<b>17</b>
4.1	Arquitetura do Sistema .....	17
4.2	Solução Mecânica .....	18
4.2.1	Layout.....	18
4.2.2	Dimensionamento dos Atuadores.....	23
4.2.3	Atuadores Lineares .....	25
4.2.4	Motorreductor.....	27
4.3	Controlo .....	29
4.3.1	Controlo de Velocidade.....	29
4.3.2	Controlo de Posição.....	30
4.4	Quadro Elétrico .....	32
4.4.1	SolidWorks Electrical 2017 .....	33
4.4.2	Autómato .....	34
4.4.3	Layout.....	40
4.4.4	Refrigeração.....	41
4.4.5	Localização.....	43
<b>5</b>	<b>Programação do Sistema.....</b>	<b>45</b>
5.1	Programa .....	45
5.1.1	Twincat PLC Control & System Manager v2.11 .....	45
5.1.2	Subprograma “Posição”.....	46
5.1.3	Subprograma “Velocidade” .....	49
5.1.4	Subprograma “Alarmes”.....	50
5.1.5	Subprograma “Conversor de Parâmetros” .....	51
5.2	HMI.....	51
5.2.1	Wonderware Indusoft Webstudio v8.0.....	51
5.2.2	Estrutura da HMI .....	52
5.2.3	Modo Automático.....	53

5.2.4	Modo Manual.....	58
5.2.5	Alarmes e Eventos .....	59
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>63</b>
6.1	Conclusões.....	63
6.2	Trabalhos Futuros.....	64
<b>7</b>	<b>Referências.....</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXO A: Blocos Twincat PLC Control.....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO B: Esquema Elétrico do Sistema de Eliminação de Rugas .....</b>	<b>69</b>

## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Constituição de um pneu automóvel.....	1
Figura 1.2 - Vista exterior da máquina de impregnar tela (Lopes, 2016).....	3
Figura 2.1 - Torcedores (Lopes, 2016).....	7
Figura 2.2 - Secção de Tecelagem.....	8
Figura 2.3 - Percurso da tela na máquina de impregnar “Zell” (Lopes, 2016).....	9
Figura 3.1 - Full Width Spreader (Benninger, 2011) .....	12
Figura 3.2 - Duo Expander (Benninger, 2011).....	12
Figura 3.3 - Cogumelos Metálicos .....	13
Figura 3.4 - Vista do mecanismo de rolos espiralados .....	14
Figura 3.5 - Fusos de posicionamento dos rolos espiralados .....	14
Figura 4.1 - Arquitetura do sistema .....	17
Figura 4.2 - Topo da estufa 1.....	18
Figura 4.3 - Esquema da primeira hipótese de layout .....	19
Figura 4.4 - Primeiro layout com motorreductor móvel .....	20
Figura 4.5 - Medições de temperatura no futuro local dos atuadores .....	21
Figura 4.6 - Layout com prolongamento dos veios dos atuadores .....	21
Figura 4.7 - Estrutura final do sistema de eliminação de rugas.....	22
Figura 4.8 - Diagrama de forças .....	23
Figura 4.9 - Acoplamento de motor assíncrono c/ eixo linear.....	27
Figura 4.10 - Motorreductor SEW KA29/T DRN90L4/AL/PT .....	28
Figura 4.11 - ABB ACS580 .....	29
Figura 4.12 - Codificador para medição da velocidade do tecido .....	30
Figura 4.13 - Leitura do sinal do transdutor de posição no autómato .....	31
Figura 4.14 - Leitura do sinal transdutor de posição através do variador de frequência.....	31
Figura 4.15 - KL1404 .....	35
Figura 4.16 - KL2404 .....	35
Figura 4.17 - KL3054 .....	36
Figura 4.18 - KL3204 .....	36
Figura 4.19 - KL3052 .....	37
Figura 4.20 - KL5111 .....	37
Figura 4.21 - KL4424 .....	38
Figura 4.22 - BK1250.....	38
Figura 4.23 - KL9210.....	39
Figura 4.24 - KL9010.....	39

Figura 4.25 - Layout do quadro elétrico .....	40
Figura 4.26 - Permutador Ar/Água Rittal 3373500 .....	42
Figura 4.27 - Gráfico da potência de arrefecimento do permutador em função da temperatura da água e da temperatura interior desejada .....	43
Figura 4.28 - Localização do quadro elétrico .....	44
Figura 4.29 - Perspetiva do operador do local do quadro elétrico .....	44
Figura 5.2 - Grafcet de base para o subprograma "Posição" .....	46
Figura 5.3 - Seleção do valor de posição .....	47
Figura 5.4 - Bloco PID de controlo de um dos motores de posicionamento .....	48
Figura 5.5 - Condição de travagem.....	48
Figura 5.6 - Grafcet de base para o subprograma "Velocidade" .....	49
Figura 5.7 - Condição de velocidade necessária ao avanço do rolo .....	50
Figura 5.8 - Conversão do valor da entrada de posição de "word" para "real" .....	51
Figura 5.9 - Janela para conexão com autómato.....	52
Figura 5.10 - Estrutura da HMI.....	53
Figura 5.11 - Página inicial HMI .....	53
Figura 5.12 – Página para criação de receitas .....	54
Figura 5.13 - Código para criar ou editar artigo .....	55
Figura 5.14 - Código para escolha de artigo .....	55
Figura 5.15 - Página de escolha de artigo .....	56
Figura 5.16 - Janela de edição de cores .....	56
Figura 5.17 - Página de início de marcha.....	57
Figura 5.18 - Página de controlo manual .....	58
Figura 5.19 - Página de alarmes.....	59
Figura 5.20 - Página para criação de alarmes .....	60
Figura 5.21 - Código para gerar eventos.....	60
Figura 5.22 - Página de eventos .....	61

## 1 Introdução

Este projeto foi proposto pela empresa Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A., com o objetivo de desenvolver um sistema automático de eliminação de rugas da tela dos pneus.

A importância dos pneus nos dias de hoje é evidente, uma vez que são um componente imprescindível nos tratores, automóveis, caminhões e outros meios de transporte. Estes têm como função garantir a estabilidade, tração ao solo e, também, suportar o peso de toda a estrutura do veículo.

Assim, a exigência das características mecânicas de um pneu é extremamente elevada, sendo que é necessário que o processo produtivo de cada um dos seus constituintes seja o mais rigoroso possível, de modo evitar defeitos.

### 1.1 Contextualização

Na constituição de um pneu como, por exemplo, de um automóvel, estão presentes diversas camadas como é possível observar na Figura 1.1.



Figura 1.1 - Constituição de um pneu automotível

A camada sobre a qual se debruça este trabalho é a carcaça. Esta é uma estrutura flexível formada por filamentos têxteis (poliéster, nylon, rayon, etc.) ou de aço que são impregnados de borracha e formam arcos retos que se enrolam no aro do talão do pneu.

As funções desempenhadas pela carcaça passam por:

- Suportar a carga e a velocidade com ajuda da pressão;
- Participar na estabilidade e no conforto;
- Participar no rendimento e eficiência energética do pneu.

Com isto pode concluir-se que esta camada desempenha um papel fundamental na estrutura do pneu, sendo que a exigência e rigor no desenvolvimento dos têxteis (ou filamentos de aço) que a constituem tem que ser elevada.

Na produção de têxteis para pneus existem diversas etapas às quais a matéria prima é sujeita, de modo a chegar a um produto final com as características desejadas.

Na impregnação da tela para pneus, realizada na máquina Zell, é possível que, por vezes, durante todo o percurso que esta realiza através de 7 estufas, surjam algumas rugas. Existem diversos fatores que contribuem para o seu aparecimento, tais como:

- Curvas existentes durante todo o percurso;
- Vibrações induzidas pelos sistemas de recirculação e exaustão de vapores;
- Defeito nas costuras que unem o final de um rolo ao início do outro;

Devido às grandes tensões a que o tecido está sujeito, pode acontecer que as rugas resultem em rotura ou vincos definitivos, inviabilizando a utilização de todo o rolo que estava a ser tratado naquela altura, o que acarreta enormes despesas para a empresa.

## **1.2 Continental - Indústria Têxtil do Ave, S.A.**

A C-ITA, inicialmente designada por INTEX, situada em Lousado, foi fundada oficialmente a 16 de dezembro de 1948. A sua atividade foi iniciada a 4 de agosto de 1950, com a entrada em funcionamento do primeiro torcedor de fio, sendo que as primeiras amostras de corda para pneus foram entregues à Manufatura Nacional de Borracha (Mabor) no dia 20 de Agosto do mesmo ano. Nesta fase, a empresa produzia telas de algodão para fabrico de pneus.

Em 1992 foi adquirida a máquina de impregnar tela para pneus, sendo esta a mais importante de todo o processo produtivo, que se pode visualizar na Figura 1.2.



Figura 1.2 - Vista exterior da máquina de impregnar tela (Lopes, 2016)

Hoje em dia, a C-ITA tem uma área total de 52329 m<sup>2</sup> dos quais 30153 m<sup>2</sup> são de área coberta e tem uma produção de 14000 ton/ano de tela e corda para pneus, usando como matérias primas o rayon, aramida, nylon e poliéster. (Lopes, 2016)

### 1.3 Objetivos do projeto

Os mecanismos manuais para eliminação de rugas já existentes na máquina Zell, para além de serem pouco práticos, colocam em risco a segurança do operador e, estão sujeitos ao erro humano, podendo por vezes danificar o tecido. Para além disso, estes mecanismos não cumprem a sua função a 100%, uma vez que ainda permanecem rugas durante o tratamento de alguns artigos. Assim sendo, é imperativo o desenvolvimento de uma nova solução que seja capaz de solucionar os problemas acima mencionados. Esse protótipo terá por objetivo:

- Automatizar o processo, desenvolvendo um sistema de eliminação automática de rugas;
- Ter uma interface intuitiva para os operadores que estiverem no seu comando;
- Detetar falhas e gerar alarmes;
- Aumentar a eficiência do mecanismo.

Para além disso, o sistema tem que ser compacto, uma vez que o espaço da sua implementação é reduzido.

#### **1.4 Metodologia**

Nesta dissertação, como primeira abordagem, foi realizada uma análise dos mecanismos existentes de eliminação/prevenção da existência de rugas na tela para pneus, bem como de outros mecanismos que, embora cumprissem um objetivo diferente, permitissem tracionar a tela transversalmente.

O maior foco foi naturalmente dado ao sistema de rolos espiralados, uma vez que o objetivo deste trabalho foi a sua automatização e consequente otimização. Para além da observação do sistema parado, este foi também visualizado em funcionamento, de modo a serem perceptíveis aspetos como a penetração no tecido, as temperaturas envolventes e os perigos que poderiam existir para os operadores ao interagirem com o sistema.

Depois de compreendido o funcionamento do sistema e os problemas que este acarreta, foi então pensado o local de instalação do mecanismo, bem como as alterações a realizar de modo a resolvê-los. Para além disso, foram ponderadas maneiras de otimizar o sistema, como por exemplo controlar a velocidade dos rolos de forma a criar um diferencial entre a velocidade linear da periferia do rolo e a velocidade do tecido.

Posto isto, foi definido qual seria o local da máquina onde seria implementado o protótipo. Uma vez que este seria o primeiro mecanismo deste género a ser desenvolvido, pensou-se em escolher o local com maior espaço de trabalho de todos aqueles onde os mecanismos estavam implementados e onde existisse uma grande incidência de formação de rugas.

Seguiu-se então a definição do layout do sistema, bem como a realização de todos os cálculos necessários ao dimensionamento dos atuadores a utilizar. Concluído o passo anterior, procedeu-se então à escolha dos mesmos.

Posteriormente, foi definida a parte elétrica que contou com o projeto do quadro elétrico e a escolha de todos os componentes que o constituíam.

Para finalizar a fase de projeto, estudou-se o controlo a implementar e também a conceção da interface gráfica que fosse suficientemente intuitiva para todos os operadores.



## 1.5 Estrutura da dissertação

Esta tese encontra-se dividida em 7 capítulos que englobam todo o projeto do protótipo do sistema de eliminação de rugas.

No primeiro capítulo realiza-se uma pequena introdução ao tema, de modo a enquadrar o leitor no assunto e apresentando os objetivos do projeto.

O segundo capítulo diz respeito ao processo produtivo da tela, explicando as diversas etapas da sua produção até resultar no produto final.

No terceiro capítulo é explicado o problema que conduziu à realização deste projeto e é realizada uma análise aos mecanismos de tração transversal do tecido existentes na máquina de impregnar.

Posteriormente, no capítulo quatro, definem-se quais os componentes a utilizar no sistema, tanto da parte mecânica, como da parte elétrica. Para tal, é determinado inicialmente o layout do sistema, tornando possível realizar a escolha do material necessário e o dimensionamento dos atuadores.

No quinto capítulo são apresentados os graficets que serviram de base para o programa do autómato e é realizada a descrição dos subprogramas que o constituem. Para além disso é ainda apresentada a HMI e as suas funcionalidades principais.

O capítulo seis apresenta um resumo das conclusões de todo o trabalho realizado nesta dissertação. São ainda sugeridos trabalhos futuros no sentido de melhorar e pôr em prática o projeto realizado.

Finalmente, o capítulo sete apresenta as referências utilizadas durante a elaboração desta dissertação.



## 2 Processo Produtivo da Tela para Pneus

Na Continental – ITA são produzidas cordas e telas para a indústria dos pneus e malhas para revestimento sintético de interiores de automóveis. Neste subcapítulo será descrito resumidamente o processo de produção de telas, visto que o tema desta dissertação passa pela otimização do tratamento da mesma.

### 2.1 Produção das Cordas

A primeira etapa deste processo é a produção das cordas. A matéria-prima utilizada nesta fase são fios de nylon, aramida, poliéster ou rayon. Estes fios, enrolados em bobines, são colocados em torcedores (apresentados na Figura 2.1) que podem torcer dois ou mais fios por corda. Com isto, consegue-se aumentar a resistência do material ao desgaste por fricção.



Figura 2.1 - Torcedores (Lopes, 2016)

Durante a torção, as cordas estão a ser enroladas numa nova bobine e, após algum tempo de estabilização, estão preparadas para serem transportadas “em verde” (sem qualquer impregnação) até à secção seguinte. Esta secção pode ser a de impregnação de cordas no caso de este ser o produto final, ou a de tecelagem no caso do produto final ser a tela. (Lopes, 2016)

## 2.2 Produção da Tela

Já na secção de tecelagem, as bobines são alinhadas em série e paralelo como se pode ver na Figura 2.2 e cada corda é presa ao tear de forma a serem incluídas na teia. A trama é constituída por fios de algodão, que alinham as cordas e lhes conferem um espaçamento homogéneo, produzindo-se então a tela que será ainda enrolada à saída dos teares.



Figura 2.2 - Secção de Tecelagem

A tela “em verde” será então transportada para a máquina de impregnar tela, para que se realize a etapa final do processo – a impregnação.

## 2.3 Impregnação da Tela

A impregnação da tela decorre na máquina Zell, que será aquela onde será incluído o sistema desenvolvido neste projeto. Assim sendo, será realizada uma descrição mais detalhada desta parte do processo, para um que seja possível um melhor enquadramento no tema.

A Figura 2.3 representa esquematicamente a estrutura da máquina Zell, com uma dimensão de 7 andares e constituída por 7 estufas, onde são impregnados cerca de 440 rolos por semana.

Os rolos de tela “em verde” são colocados na posição de início e realizam o percurso indicado na Figura 2.3. Durante este percurso a tela é sujeita a duas fases de impregnação nas

tinas T1 e T2 (algumas são só submersas na primeira tina) que contêm soluções compostas essencialmente por água, resina e látex.

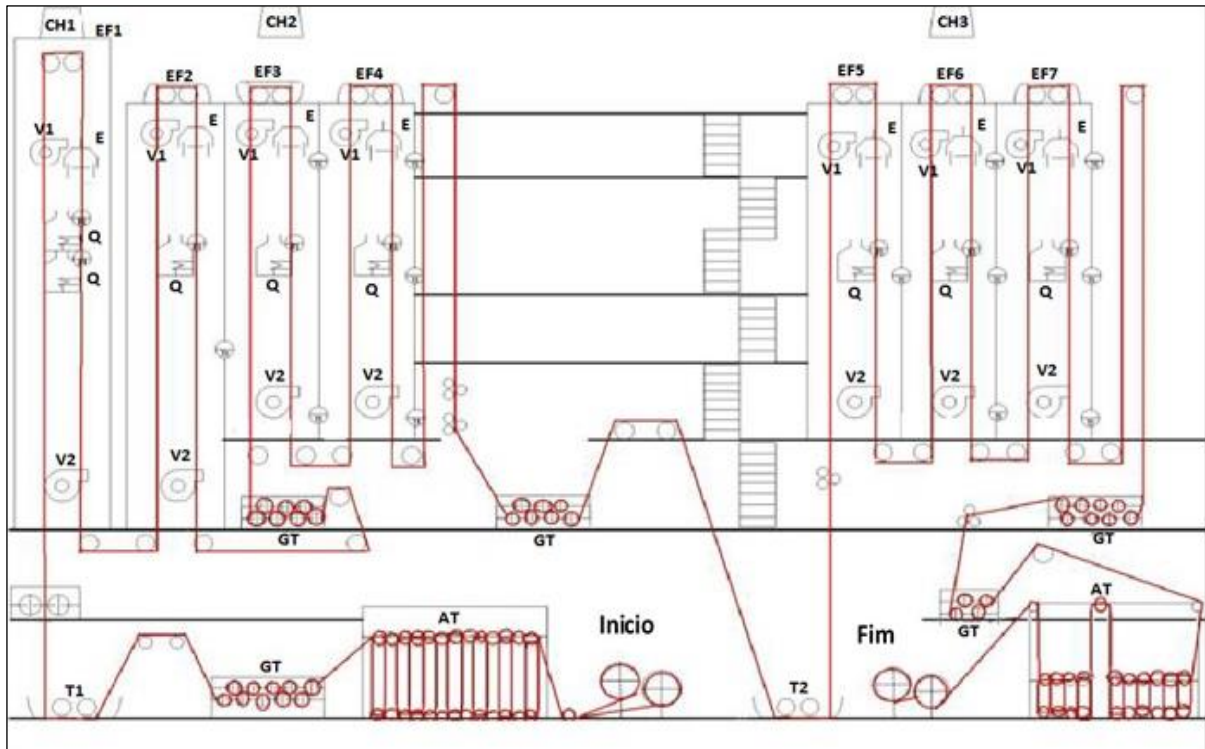


Figura 2.3 - Percurso da tela na máquina de impregnar “Zell” (Lopes, 2016)

A tela passa pelas diversas estufas onde é submetida a diferentes temperaturas, em algumas com o objetivo da secagem do tecido e noutras para o seu tratamento térmico.

Os acumuladores (AT) realizam uma função extremamente importante neste processo. O primeiro utiliza-se quando é necessário alimentar a máquina com um novo rolo, em que são realizadas costuras que une esse mesmo rolo àquele que está a ser finalizado. Para tal, é preciso que exista uma paragem na zona de costura, sendo que este acumulador permite que o resto da máquina se mantenha em andamento, proporcionando um funcionamento em contínuo. O mesmo acontece com o acumulador do final do trajeto, em que é necessário remover o rolo que acabou o tratamento.

Os grupos tratores (GT) conferem movimento ao têxtil e permitem também conferir-lhe uma estiragem positiva ou negativa, mediante o diferencial de velocidade entre eles.

Existem ainda mecanismos que alinham e esticam a tela, que serão discutidos no capítulo seguinte.



## **3 Definição do Problema**

### **3.1 Formação de Rugas**

Durante todo o percurso realizado pela tela, descrito no subcapítulo 2.3., esta está sujeita a diversos fatores que criam bastante instabilidade e facilitam a formação de rugas.

O ponto mais importante relativo a este problema passa pelas costuras que unem o início de um rolo ao final do outro. Como é lógico e, uma vez que é um processo realizado pelos operadores, é impossível que a união entre os dois rolos seja absolutamente perfeita. Irão sempre existir defeitos provocados pelas costuras, tais como a sobreposição de tecido (do mesmo rolo), o desalinhamento entre rolos, rugas entre costuras, etc. Estes defeitos vão tender a propagar-se pelo tecido, sendo que esta é a maior causa da formação de rugas na tela.

Para além disso, como é perceptível, existem diversas curvas de início ao fim do trajeto que comprometem a extensão transversal do tecido, sendo que estas são zonas críticas para o aparecimento de rugas no tecido.

O facto de existirem grandes troços do percurso em que o tecido não tem qualquer apoio (alguns desde o 1º ao 7º andar), fazem com que qualquer perturbação externa induza vibrações no tecido, contribuindo também para o problema em questão neste capítulo. Uma vez que no interior das estufas é realizada a recirculação e exaustão de vapores, as perturbações existentes são significativas, agravando em grande escala esse efeito.

### **3.2 Mecanismos Existentes**

Na máquina Zell, existem já alguns mecanismos que permitem alargar o tecido, no entanto não conseguem prevenir a formação de rugas, servindo apenas para manter a largura adequada. Esses mecanismos serão brevementemente descritos nos subcapítulos 3.2.1. e 3.2.2..

Para além dos sistemas anteriormente referidos, existem já outros que permitem a eliminação/prevenção de aparecimento de rugas na tela, porém, são completamente manuais,

pouco eficientes e, por vezes, colocam em risco a segurança dos operadores. Os subcapítulos 3.2.3. e 3.2.4. descrevem esses sistemas.

### 3.2.1 “Full Width Spreader”

O “Full Width Spreader” consiste em 2 conjuntos de 3 rolos, controlados independentemente que espalham o tecido ajustando a sua largura (um conjunto à direita e outro à esquerda). (Benninger, 2011)



Figura 3.1 - Full Width Spreader (Benninger, 2011)

### 3.2.2 “Duo Expander”

Este mecanismo é constituído por dois rolos em arco que, com a passagem do tecido entre ambos, realizam uma tração transversal que permite esticar o tecido, como é possível verificar na Figura 3.2. (Benninger, 2011)

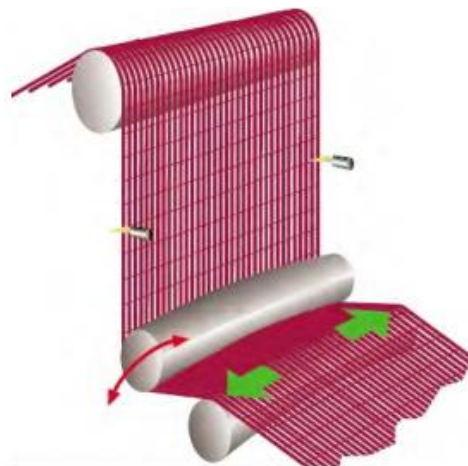


Figura 3.2 - Duo Expander (Benninger, 2011)



### 3.2.3 “Cogumelos” Metálicos

Este mecanismo trata-se de um sistema corretivo que, aquando do aparecimento de uma ruga permite desfazê-la.

O sistema consiste em dois manípulos em forma de cogumelo que se movem independentemente um do outro, em que o operário encosta a sua superfície redonda ao tecido e através de movimentos repetidos de junção e afastamento dos mesmos, desfaz a ruga existente.

Este mecanismo é utilizado apenas em último recurso, uma vez que a superfície dos cogumelos ao penetrar no tecido pode danificá-lo.

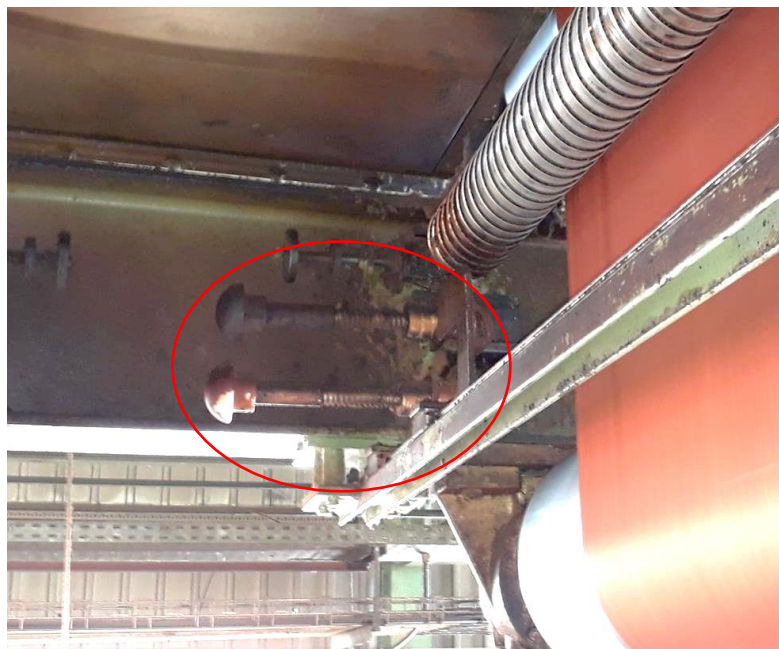


Figura 3.3 - Cogumelos Metálicos

### 3.2.4 Rolos Espiralados

Para além do sistema acima referido, existem ainda mecanismos que visam prevenir o aparecimento de rugas, como é o caso dos sistemas de rolos espiralados. Existem 8 destes mecanismos espalhados pela máquina de impregnar tela, sendo todos eles semelhantes. O estudo mais detalhado foi realizado no sistema em funcionamento na estufa 5, uma vez que é aquele que tem uma melhor visibilidade.

Este mecanismo consiste no posicionamento de um conjunto de dois rolos com 1800 mm de comprimento e 120 mm de diâmetro, com uma espiral que abrange todo o seu perímetro e se desenvolve do centro para as suas extremidades (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Vista do mecanismo de rolos espiralados

Este posicionamento é realizado através de fusos apresentados na Figura 3.5, um em cada uma das espigas dos rolos, tendo por objetivo encostar cada um deles a faces opostas do tecido, exercendo sobre este uma tensão transversal, devido à trajetória divergente descrita pela sua espiral.

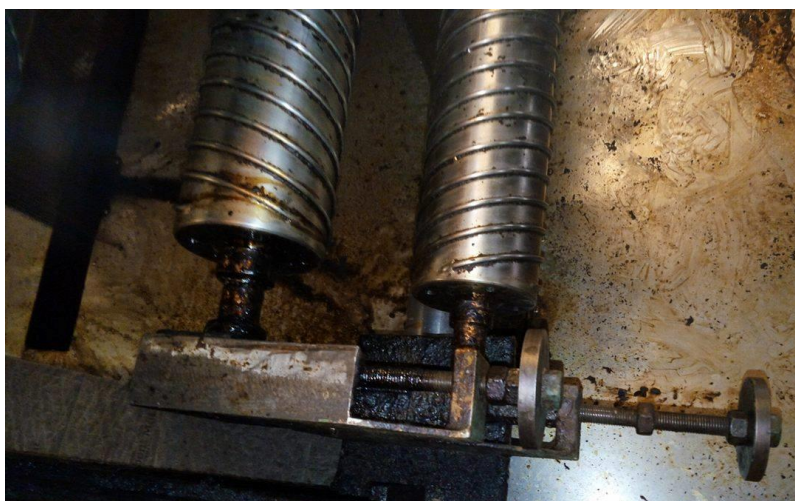


Figura 3.5 - Fusos de posicionamento dos rolos espiralados

Através de observação direta, verificou-se que a penetração dos rolos no tecido assumia valores muito baixos, em torno dos 20 mm sendo que o curso total possível é aproximadamente de 150 mm.

No que diz respeito à velocidade de rotação dos rolos, uma vez que estes são arrastados pela tela, esta é definida pela velocidade linear imposta na máquina que varia entre os 35 e 105 m/min.

Como é possível visualizar na Figura 3.4, este mecanismo situa-se junto a uma curva do tecido, uma vez que, como referido no subcapítulo 3.1, esta é uma zona crítica de formação de rugas.

Nem todos os artigos utilizam este mecanismo, tendo em conta que a partir de uma tensão de 3 toneladas no tecido, não se verifica um número significativo de ocorrências no que diz respeito à formação de rugas e a sua influência seria reduzida.

### 3.3 Problemas a resolver

Após a análise do sistema manual dos rolos espiralados e através do contacto com alguns operadores, foi possível fazer uma análise dos principais problemas a resolver:

- O facto de ser um processo completamente manual acarreta problemas no posicionamento preciso dos rolos, podendo um pequeno descuido estragar o tecido por completo:
  - A penetração é exagerada para alguns artigos;
  - O rolo pode não ficar completamente paralelo ao tecido, uma vez que o ajuste da posição é realizado de forma independente nas duas extremidades do rolo;
- Para o posicionamento, o operador necessita de estar demasiado perto da zona de passagem do tecido, colocando em risco a sua segurança;
- O facto de não existir tração própria nos rolos faz com que estes rodem à velocidade de passagem do tecido, sendo que a sua influência na eliminação das rugas é reduzida;
- A baixa eficiência do mecanismo faz com que, nos tecidos mais críticos, o operador tenha que se deslocar ao 7º piso cada vez que um novo rolo inicia o tratamento (cerca de 220 vezes por semana), para acompanhar a costura e tentar remover as rugas causadas pela mesma com as próprias mãos.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho passa pela resolução destes problemas através a automatização e otimização do sistema, aumentando a sua segurança e eficácia.



## 4 Projeto do sistema

### 4.1 Arquitetura do Sistema

Para uma melhor compreensão de todos os tópicos abordados nos capítulos seguintes, apresenta-se na Figura 4.1 uma visão geral dos componentes do sistema, bem como a maneira como interagem entre si.

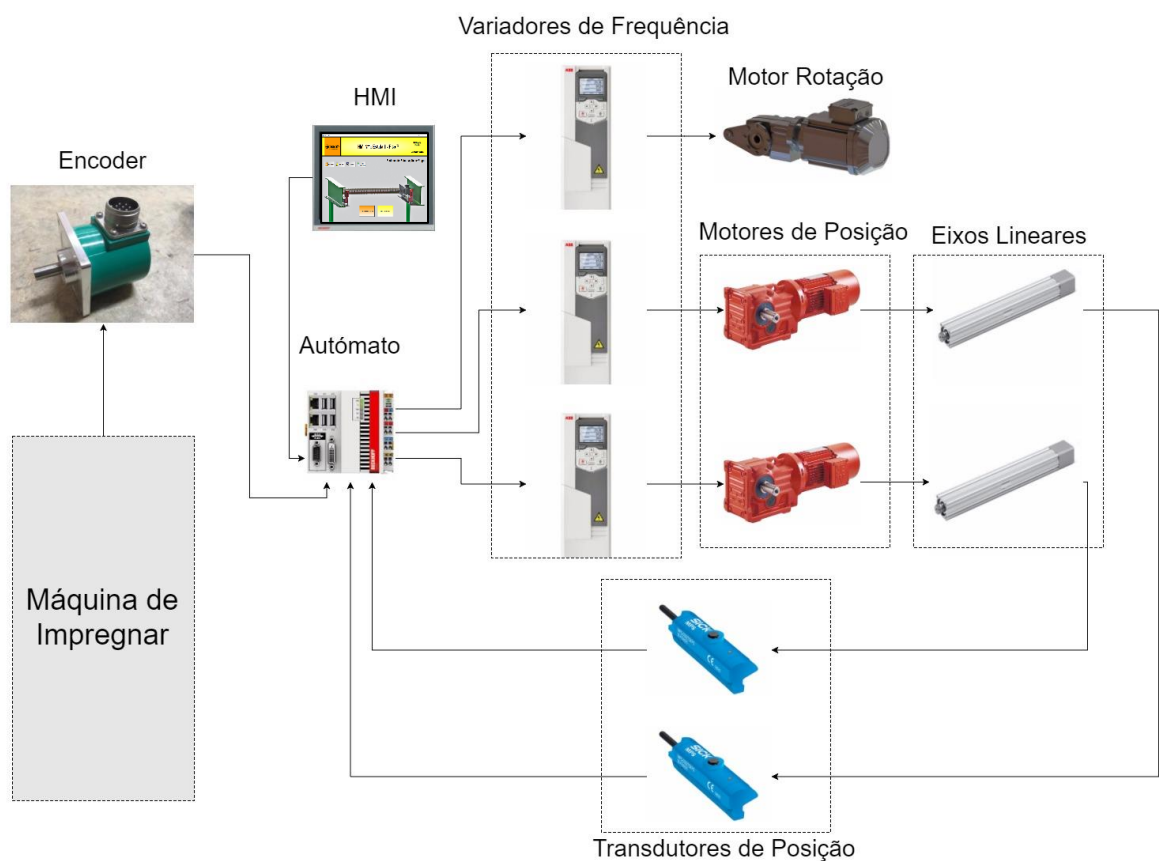


Figura 4.1 - Arquitetura do sistema

## 4.2 Solução Mecânica

### 4.2.1 Layout

Para a definição do layout, é necessário ter em consideração o espaço de trabalho e as suas dimensões, sendo que a primeira tarefa realizada foi a escolha da estufa onde se iria inserir o protótipo. Para esse efeito, foram tidos em conta os seguintes aspetos:

- Espaço de trabalho amplo para maior flexibilidade na execução do projeto;
- Frequência elevada de formação de rugas;

Após consideração destes critérios, a zona escolhida foi a primeira estufa da máquina. Esta é a que apresenta maior espaço de trabalho e tem uma elevada propensão à formação de rugas, uma vez que o tecido se desloca entre os 7 andares da máquina apenas apoiado nas extremidades, o que faz com que qualquer corrente de ar proveniente da exaustão crie grande instabilidade e conduza à formação de rugas.

Existe ainda outra vantagem na escolha da Estufa 1, visto que esta se encontra na fase inicial do processo, a eliminação das rugas é realizada imediatamente após a sua formação, evitando que estas se propaguem durante o trajeto do tecido.

Posteriormente à definição da localização, foi necessário medir toda a estrutura da máquina no local onde seria inserido o protótipo. Na Figura 4.2 pode observar-se o local referido.



Figura 4.2 - Topo da estufa 1



O segundo passo foi determinar se seria, ou não, necessário movimentar independentemente os dois rolos.

Uma vez que não existiam vantagens significativas em ter os dois rolos móveis e o preço desta solução seria praticamente o dobro relativamente a ter um dos rolos fixo, foi decidido que apenas um dos rolos realizaria o movimento linear de posicionamento e teria tração própria, enquanto o outro teria apenas um grau de liberdade correspondente à rotação sobre o seu próprio eixo. Para tal seriam necessários três atuadores: um motorreductor que conferia velocidade própria ao rolo e dois atuadores lineares que realizavam o posicionamento do mesmo.

Após a definição dos movimentos a realizar foi então possível pensar no layout do mecanismo.

Inicialmente, considerou-se a hipótese de colocar todos os atuadores fixos, como é mostrado esquematicamente na Figura 4.3.

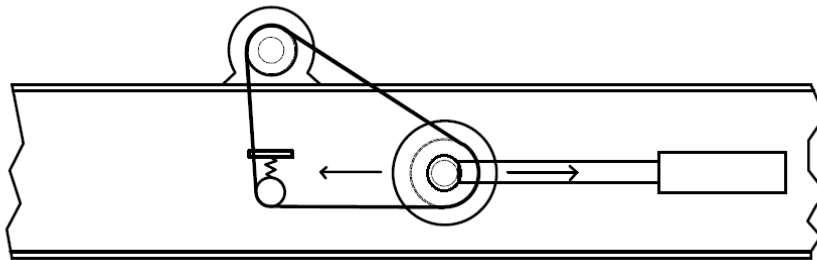


Figura 4.3 - Esquema da primeira hipótese de layout

Este layout acarreta os seguintes problemas:

- A polia exposta ao ambiente agressivo onde está inserido o sistema, acumula bastantes resíduos que podem conduzir ao mau funcionamento do mecanismo;
- A variação de tensão na polia devido à movimentação do rolo pode levar a maiores erros de posicionamento;

De modo a corrigir os problemas apresentados na solução anterior, ponderou-se a hipótese do motorreductor ser movimentado juntamente com o rolo.

Numa primeira abordagem, pensou-se em colocá-lo do lado exterior da viga, mas para isso seria necessário mexer na estrutura da máquina, uma vez que seria necessário realizar uma ranhura no perfil em “I”. Para evitar esse inconveniente, apesar do pouco espaço existente entre a viga e o tecido, tentou-se projetar um sistema compacto que se localizasse inteiramente no interior da estrutura. Para tal, foram projetadas duas “carruagens” em forma de “L” para apoiar cada extremidade do rolo e, uma delas, para transportar também o motorreductor.

Cada “carruagem” será apoiada em dois patins da marca IKO (MHT30) que, por sua vez, se irão deslocar sobre uma corrediça da mesma marca (MH30).

Para que fosse possível apoiar todos os componentes acima referidos, foi necessário prolongar o banzo das vigas em “I” através de duas chapas que serão aparafusadas à estrutura.

O layout encontrado foi o representado na Figura 4.4.

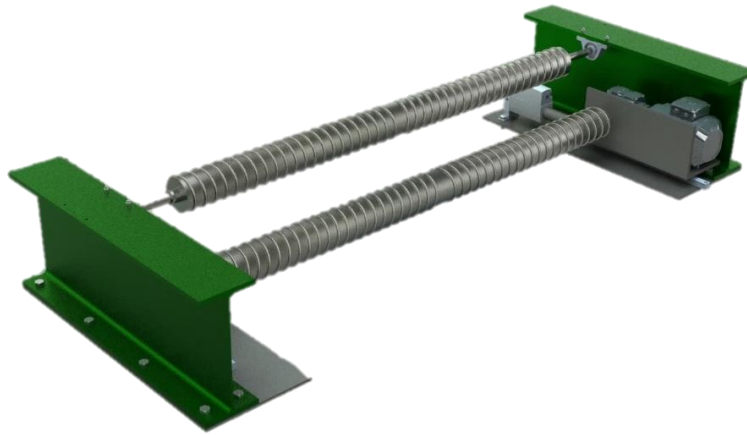


Figura 4.4 - Primeiro layout com motorreductor móvel

Este seria o layout final do sistema, até que surgiu um problema que condicionou a localização dos atuadores lineares. A temperatura ambiente devido ao contacto direto com os vapores que evacuam da estufa era cerca de 60 °C, em dias em que a temperatura exterior não ultrapassava os 25 °C. Assim sendo, seria possível que no Verão a temperatura a que os atuadores estariam sujeitos fosse cerca de 10-15 °C superior.

Após consulta de alguns fornecedores, chegou-se à conclusão que não existiam atuadores lineares capazes de aguentar estes valores elevados de temperatura, pois a massa de lubrificação iria desaparecer/secar rapidamente quando sujeita a tais condições.

Posto isto, foi necessário desenvolver uma solução diferente que resolvesse este problema. Quatro estratégias diferentes foram abordadas:

- Refrigeração a ar comprimido;
- Lubrificação líquida periódica e automática dos atuadores;
- Deflexão dos vapores;
- Afastamento dos atuadores lineares da zona de vapores.

As duas primeiras soluções seriam bastante mais complexas e dispendiosas do que as restantes, sendo que seriam apenas utilizadas em último recurso.



Foi então realizado um estudo de maneira a verificar se seria possível utilizar uma das duas últimas soluções.

Em primeiro lugar foi realizada a experiência de colocar uma chapa (a simular a chapa de suporte da estrutura final), de modo a que os vapores não incidissem diretamente na zona onde posteriormente iriam estar presentes os atuadores. Foram realizadas medições da temperatura nesse local e verificou-se que não existia qualquer alteração significativa na temperatura. Assim sendo, esta alternativa não surtia o efeito desejado.

Seguidamente foi então equacionado um local afastado da zona de vapores para colocar os atuadores e foram novamente realizadas várias medições de temperatura na nova localização com diferentes artigos a ser tratados (diferentes temperaturas da estufa), onde foram obtidos os resultados apresentados na Figura 4.5 para a temperatura máxima em cada dia.

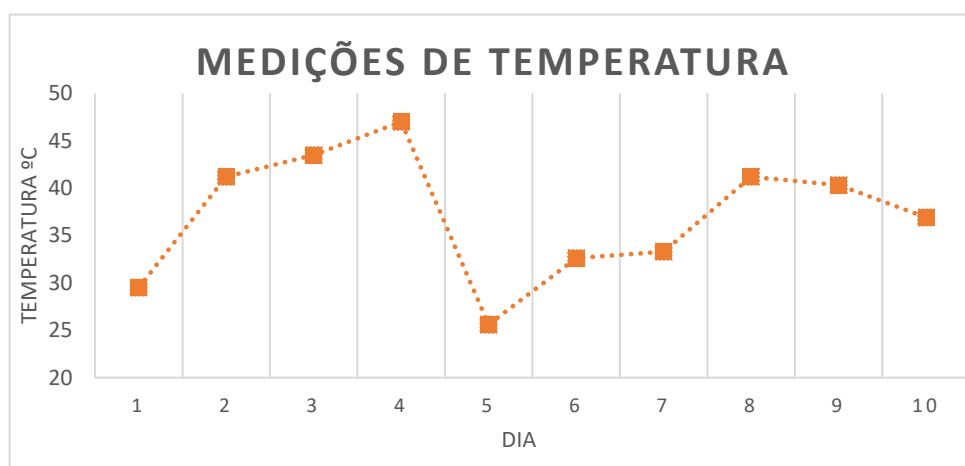


Figura 4.5 - Medições de temperatura no futuro local dos atuadores

Com isto podemos verificar que a temperatura máxima obtida não excede os 50°C, sendo que a posição final dos atuadores foi então a apresentada na Figura 4.6. É ainda possível observar que para os atuadores lineares serem colocados numa posição distante das carruagens, foi necessário prolongar a haste dos mesmos.

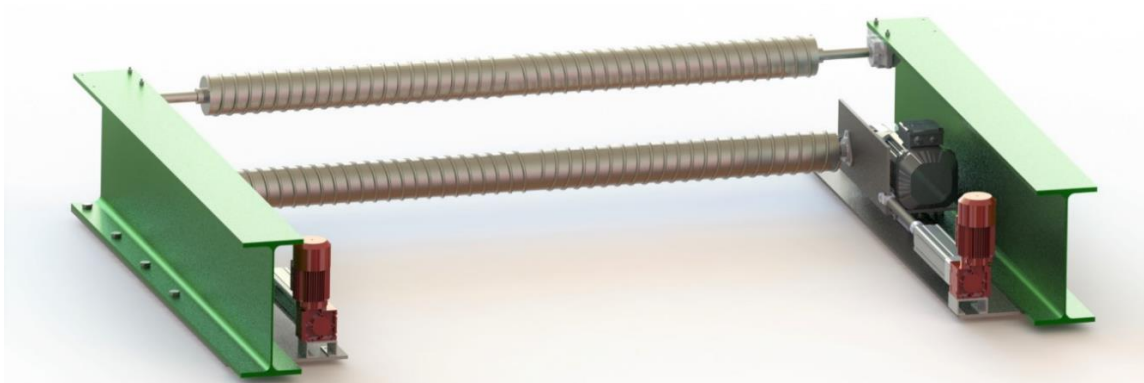


Figura 4.6 - Layout com prolongamento dos veios dos atuadores

Após apresentação deste modelo a alguns dos elementos da empresa, foi aconselhado que o rolo fixo fosse colocado numa posição mais inferior ao mecanismo, tendo apenas como função evitar que o tecido encostasse às paredes da ranhura de saída do tecido da estufa. Desta forma, garante-se que o rolo móvel se encontra imediatamente antes da curva do tecido (zona crítica na formação de rugas), sem qualquer elemento pelo meio, aumentando a sua eficácia. Assim sendo, a estrutura final é a apresentada na Figura 4.7, sendo que a parte da estrutura a verde já faz parte da máquina de impregnar.

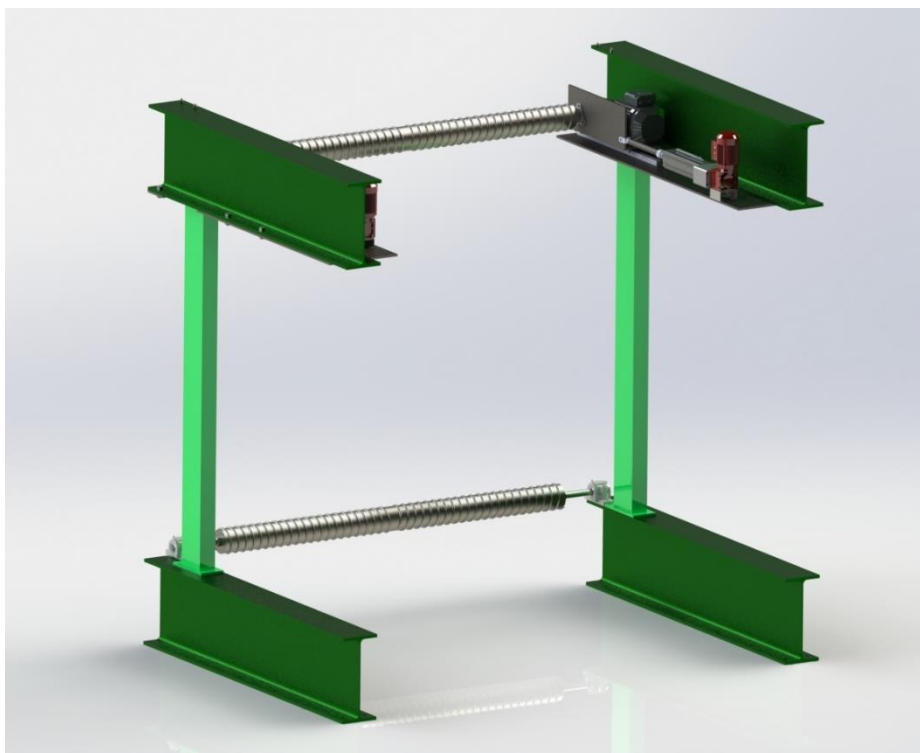


Figura 4.7 - Estrutura final do sistema de eliminação de rugas

### 4.2.2 Dimensionamento dos Atuadores

Analisando o layout definido, serão necessários três atuadores para realizar o movimento de posicionamento e rotação do rolo móvel: dois atuadores lineares e um motorreductor.

O primeiro passo para o dimensionamento foi perceber quais as forças envolvidas no sistema, sendo para isso imperativo conhecer a tensão a que o tecido estava sujeito. Inicialmente ponderou-se a utilização do valor de 7 toneladas que era o valor máximo que a máquina poderia realizar na 1ª estufa. No entanto, após entrar em contacto com algumas das pessoas que lidam com o tratamento diariamente, chegou-se à conclusão que não existiam tecidos a ser tratados com um valor tão elevado de tensão e, se posteriormente viessem a existir, o efeito dos rolos não seria relevante, ou seja, estes não seriam utilizados.

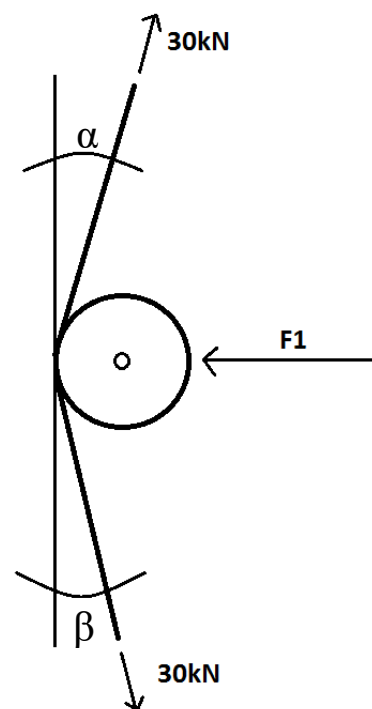


Figura 4.8 - Diagrama de forças

Posto isto, definiu-se a carga máxima do tecido como 3 toneladas, isto é, 30kN e definiu-se o diagrama para o cálculo das forças apresentado na Figura 4.8.

Para calcular a força  $F1$ , foi então utilizada a seguinte equação:

$$F1 = 30\text{sen}(\alpha) + 30\text{sen}(\beta) \quad (4.1)$$

$F1$  – Força a realizar pelos atuadores [N]

$\alpha$  – Ângulo superior de penetração [°]

$\beta$  – Ângulo inferior de penetração [°]

De forma a existir uma margem mais alargada para posteriores testes, considerou-se que a penetração máxima no tecido seria de 50 mm, o que é um valor relativamente elevado comparativamente ao que foi observado na fase inicial do trabalho.

Para o cálculo dos ângulos de penetração ( $\alpha$  e  $\beta$ ) foi necessário definir a distância a que ficavam os rolos de apoio relativamente ao rolo móvel, sendo que um deles já existia na

máquina (para realizar a curva do tecido) e o outro seria o rolo fixo a adicionar juntamente com a instalação do mecanismo. Estes valores são respetivamente 950 mm e 1500 mm.

Assim tem-se que:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{50}{950}\right) = 3^\circ$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{50}{1500}\right) = 1,9^\circ$$

Com estes valores pode então calcular-se a força a realizar pelos atuadores.

$$F1 = 2,58 \text{ kN}$$

Assim sendo, a força a realizar por cada atuador linear é de aproximadamente 1250 N.

Uma vez que a velocidade máxima requerida é de 20 mm/s, então:

$$P = v \times \frac{F1}{2} \quad (4.2)$$

$$P = 0,02 \times 1250 = 25W$$

$P$  – Potência [W]

$v$  – Velocidade linear [m/s]

No que toca ao binário do motor que realizará a rotação do rolo:

$$T = r \cdot F1 \cdot \mu \quad (4.3)$$

$T$  – Binário [Nm]

$r$  – Raio [m]

$\mu$  - Coeficiente de atrito

Considerando um coeficiente de atrito 0,3 (por excesso, uma vez que o material em causa é nylon, polyester ou aramida) e sendo o raio do rolo de 60 mm (contando com a espiral) temos:

$$T = 0,06 \times 2580 \times 0,3 = 46 \text{ Nm}$$

Para concluir qual o intervalo de velocidades de rotação a que o motorreductor funcionaria, foram solicitados os valores de velocidade linear máxima e mínima do tecido. Estes seriam 105 m/min e 35 m/min respetivamente. Estes valores correspondem às seguintes velocidades de rotação do rolo:

$$n_{max} = \frac{105}{60} \times \frac{1}{0,06} \times \frac{60}{2\pi} = 279 \text{ rpm}$$

$$n_{min} = \frac{45}{60} \times \frac{1}{0,06} \times \frac{60}{2\pi} = 120 \text{ rpm}$$

$n$  – Velocidade de rotação [rpm]

Assim sendo, de modo a conferir uma margem próxima de 25% relativamente à velocidade máxima, valor este definido após discussão com vários elementos da empresa, era necessário que o motorreductor atingisse (mantendo o binário) as 350 rpm.

$$n_{motorreductor} = 1,25 \times 279 = 350 \text{ rpm}$$

Com isto, a potência necessária pode ser obtida utilizando a expressão seguinte:

$$P = T \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (4.4)$$

$$P = 46 \times 350 \times \frac{2\pi}{60} = 1686W$$

### 4.2.3 Atuadores Lineares

Relativamente aos atuadores lineares, foi equacionada a utilização de cilindros pneumáticos. No entanto, devido às elevadas temperaturas a que estes iriam estar sujeitos, a existência de fugas significativas era quase inevitável.

Assim sendo, a alternativa foi a escolha de atuadores lineares elétricos. Três hipóteses foram colocadas:

- Atuador linear 24V DC (Thomson Electrak Pro);
- Servofuso;
- Acoplamento de motor assíncrono com fuso.

O primeiro caso foi colocado de parte, uma vez que o fornecedor da Thomson em Portugal deixou de representar a marca. A decisão passou então pela escolha entre o servofuso ou o acoplamento com o motor assíncrono. Relativamente ao primeiro, as vantagens são óbvias:

- Maior precisão de posicionamento;
- Menor atravancamento;
- Maior facilidade de controlo.

No entanto, precisão de posicionamento não é um requisito necessário neste projeto e, uma vez que o ambiente a que os atuadores vão estar sujeitos é bastante agressivo, a probabilidade de avaria é acrescida. Este último aspeto foi preponderante na tomada de decisão,

visto que uma avaria num servomotor significa que este terá muito provavelmente que ser substituído por um novo, pois, na generalidade dos casos, a sua reparação acarreta maiores custos do que essa substituição. Com isto foi então decidida a utilização de fusos com acoplamento de motor assíncrono.

Uma vez que o fuso é um componente mecânico que em caso de sobrecarga não tem qualquer tipo de proteção, utilizou-se um coeficiente de segurança de 2, para garantir que este não seria danificado. Assim sendo, este teria que suportar 2500N de carga.

Para o fornecimento do fuso foram consultadas as empresas SMC e FESTO. Após a análise de ambas as propostas o fuso escolhido foi do primeiro fornecedor, com as seguintes características:

- Fuso: SMC LEY63DNZC-200
- Força Máxima: 3343N
- Curso: 200 mm

Para a utilização deste fuso o fornecedor indicou que a única característica que o motor que iria ser acoplado teria que ter, era possuir um binário de pelo menos 1,3 Nm e que não ultrapassasse 1,8 Nm.

Assim sendo, a velocidade de rotação do motor iria estar apenas dependente da velocidade de avanço do rolo desejada. Visto que o pretendido seria que o rolo avançasse a 20 mm/s e o passo do fuso é de 5 mm então:

$$n = \frac{v}{p} * 60 = 240 \text{ rpm} \quad (4.5)$$

$p$  – Passo [mm]

Uma vez que a velocidade é relativamente baixa, será necessário o uso de motorreductores.

Para além das características acima definidas, o motor terá que conter um travão para evitar o seu sobreaquecimento aquando do posicionamento. Assim, uma vez alcançada a posição, o travão atua e o motor pode ser desligado.

Após o conhecimento destes dados, foram consultados dois fornecedores: SEW e Bresimar (representante da Oriental Motor em Portugal). Analisando ambas as propostas os motorreductores escolhidos foram:

- Motorreductor: SEW W10 DT56L4/BMG/TF;
- Velocidade a 60 Hz: 244 rpm;

- Binário máximo a 60 Hz: 4 Nm.

Como é possível verificar, o binário máximo excede aquele que o fornecedor do eixo linear aconselhou. Assim sendo, terá que ser realizada a limitação desse valor.

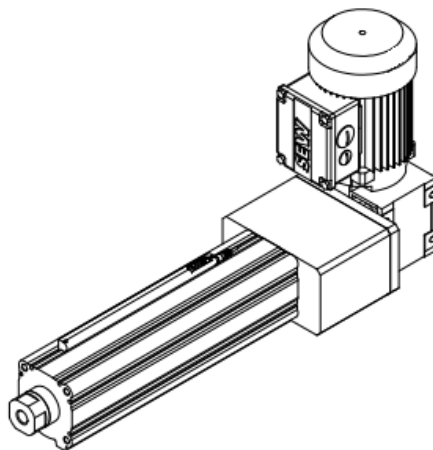


Figura 4.9 - Acoplamento de motor assíncrono c/ eixo linear

Uma vez que esta não é uma solução standard para a utilização do eixo linear, foi necessário um acoplamento especial entre o motor e o eixo, resultando no mecanismo representado na Figura 4.9.

#### 4.2.4 Motorreductor

Como é possível verificar na Figura 4.7, o motorreductor a utilizar teria que ter a saída a 90° relativamente à orientação do veio do motor. Para além disso, uma vez que o espaço entre a carruagem e a estrutura da máquina é relativamente reduzido, necessitava-se de uma solução compacta, de modo a existir alguma margem de manobra para a sua instalação. Devido a esta restrição, seria complicado colocar uma ligação elástica no veio de saída para absorver desalinhamentos, sendo que teve que ser pensada uma solução diferente. Para resolver este problema definiu-se então que a fixação do motor seria através de um braço de binário (Figura 4.10). Este consiste na fixação do motor em apenas um ponto com características elásticas, que permite compensar eventuais desalinhamentos entre a saída do reductor e as chumaceiras de apoio do rolo.

Outra característica importante foi a resistência a temperaturas elevadas, sendo que este não foi retirado da zona de vapores, uma vez que iria complicar a solução mecânica e possivelmente aumentar ao atravancamento do mecanismo.

Tendo em conta os aspetos supracitados, foram consultadas as seguintes empresas:

- RFPortugal (representante da Flender);
- SEW;
- Lenze.

A Lenze não conseguiu apresentar uma proposta para a temperatura ambiente indicada, sendo que apenas as duas primeiras empresas encontraram solução de acordo com todos os requisitos necessários. Ambas apresentaram motorreductores cónicos.

Após uma análise das propostas recebidas, o motorreductor escolhido foi o KA29/T DRN90L4/AL/PT – SEW, apresentado na Figura 4.10, tendo as seguintes características:

- Binário: 56 Nm;
- Velocidade a 70 Hz: 356 rpm;

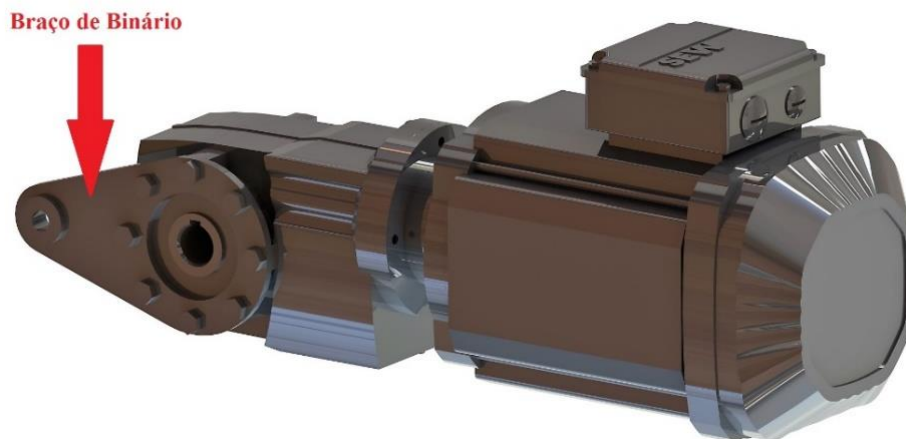


Figura 4.10 - Motorreductor SEW KA29/T DRN90L4/AL/PT

Este tem um binário superior ao necessário, de modo a que não esteja a trabalhar perto do seu limite máximo, para que não atinja temperaturas tão elevadas. A velocidade de saída a 50Hz é ligeiramente inferior àquilo que é pretendido (254 rpm), caso contrário ter-se-ia que optar por um motor com uma potência superior e, conseqüentemente, de maiores dimensões.



## 4.3 Controlo

### 4.3.1 Controlo de Velocidade

No que diz respeito ao controlo de velocidade, inicialmente foi pensado utilizar-se um codificador a medir a velocidade do motorreductor que enviaria um sinal ao variador de frequência, realizando, portanto, um controlo em malha fechada. No entanto, devido às temperaturas elevadas a que o motorreductor está sujeito, foi impossível incorporar um codificador no seu interior, visto que este não aguentava tal ambiente.

De modo a solucionar o problema referido no parágrafo anterior, assumiu-se a possibilidade de um controlo em malha aberta. Assim, a velocidade é apenas controlada pelo variador, sem qualquer feedback. Uma vez que a precisão na velocidade de rotação não é um critério preponderante, o método acima descrito foi adotado.

Na escolha do variador de velocidade, pretendeu-se utilizar uma das marcas mais utilizadas na Continental – ITA que é a ABB. A escolha da gama do variador dividiu-se entre o ACS380 e ACS580, sendo estas as gamas mais baixas. Por preferência da empresa, o variador escolhido foi então o ACS580 com uma corrente nominal de 5.6A e potência de 2,2kW, pois o motor consome uma corrente de 3,05A e tem uma potência de 1,5kW. O variador vem apresentado na Figura 4.11.



Figura 4.11 - ABB ACS580

O valor da velocidade desejado é introduzido no autómato como percentagem da velocidade a que o tecido circula na máquina durante o seu tratamento. Inicialmente, este valor seria introduzido em rotações por minuto, sendo que assumiria uma velocidade fixa. No entanto, existem artigos em que é necessário reduzir a velocidade da máquina durante a realização da costura que une o rolo que está a ser tratado, àquele que irá entrar futuramente na máquina. Assim sendo, é também necessário que a rotação do rolo espiralado acompanhe esse abrandamento.

Uma vez que a comunicação com o autómato da máquina Zell só será realizada posteriormente, foi adquirido um codificador para medir a velocidade do tecido, Figura 4.12.



Figura 4.12 - Codificador para medição da velocidade do tecido

#### 4.3.2 Controlo de Posição

Relativamente ao controlo de posição, pretendeu-se realizar um controlo em malha fechada, utilizando novamente variadores de frequência onde, neste caso, já seria possível incorporar um codificador nos motores, uma vez que estes foram afastados da zona crítica de temperaturas. No entanto, em contacto com a SMC (fornecedor dos fusos), encontrou-se uma solução que teria menores implicações em termos de atravancamento. Esta passa pela aquisição de um transmissor magnético de posição da marca SICK que pode ser inserido nas ranhuras da estrutura exterior do fuso.

Para a leitura do sinal enviado pelo transdutor existiam duas possibilidades:

- Incluir uma carta de entrada de corrente no autômato;

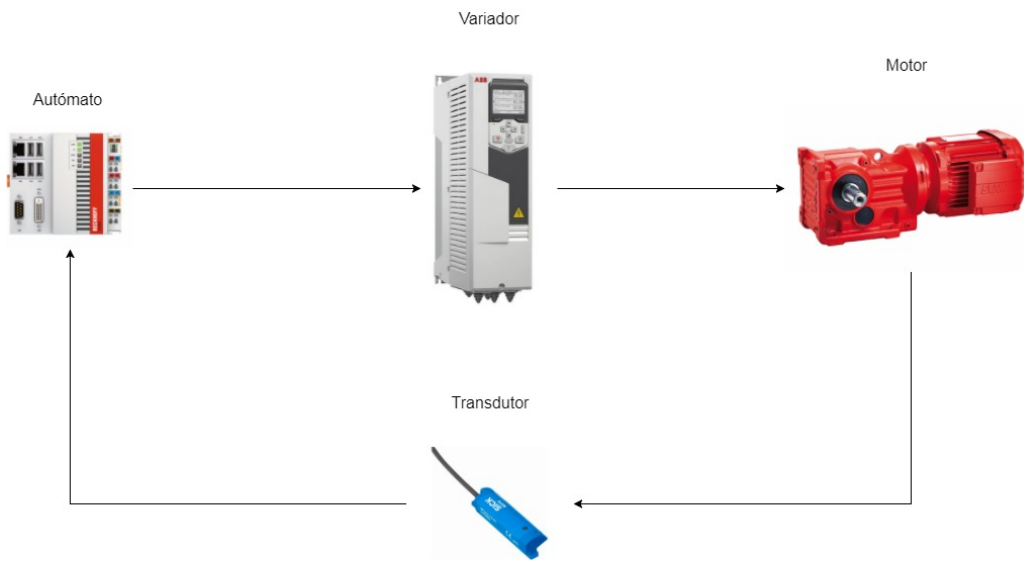


Figura 4.13 - Leitura do sinal do transdutor de posição no autômato

- Realizar a ligação direta ao variador;

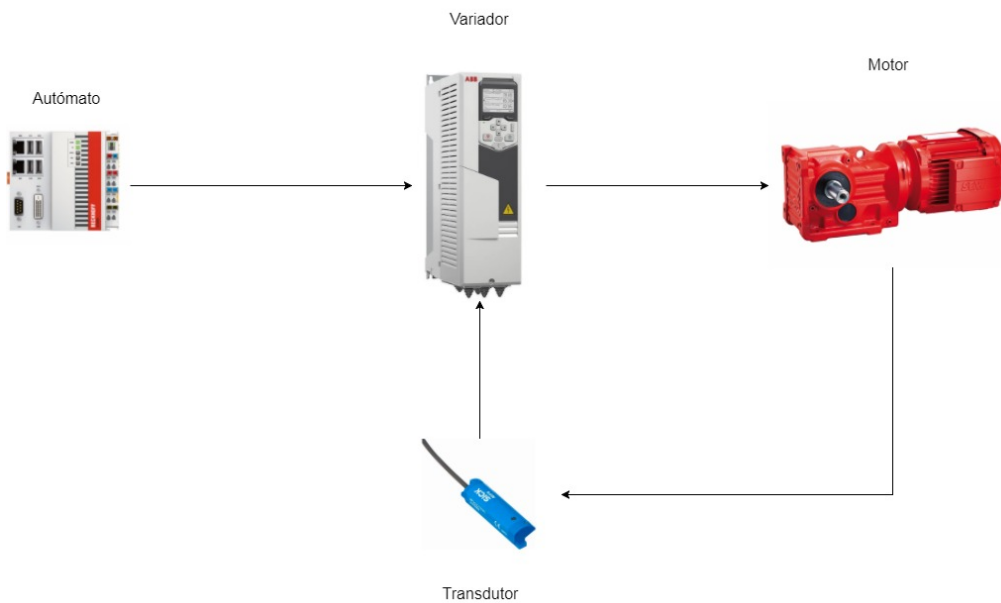


Figura 4.14 - Leitura do sinal transdutor de posição através do variador de frequência

Uma vez que se pretende a leitura dos valores reais da posição do rolo na HMI, a ligação direta do transmissor ao autômato faz mais sentido, sendo que exige um menor número de ligações entre o autômato e o variador de frequência. Com esta configuração é apenas necessário enviar o sinal de saída do controlador PID virtual (no autômato).

Na escolha dos variadores de frequência, de modo a uniformizar o equipamento utilizado, pretendia-se que fossem escolhidos variadores da mesma gama que aquele utilizado para o controlo da velocidade do rolo. No entanto, uma vez que os motores para o posicionamento são de potência bastante inferior relativamente àquele que lhe confere o movimento de rotação, existia a preocupação que os variadores tivessem uma potência demasiado elevada e conduzissem a um controlo “defeituoso” dos mesmos.

De forma a esclarecer este assunto, foi realizada uma experiência que envolvia o controlo de velocidade de um motor com 120W com um variador ACS550 com uma potência nominal de 3kW (superior ao modelo utilizado). Esta experiência consistiu na utilização de um estroboscópio para obter o valor da velocidade de rotação do motor e comparar com a velocidade indicada no variador.

Foram então realizadas as seguintes medições apresentadas na Tabela 1

Tabela 1: Determinação do erro do variador de frequência

<b>Velocidade do Variador [rpm]</b>	<b>Velocidade no Estroboscópio [rpm]</b>	<b>Erro [%]</b>
300	310	3,3
600	612	1,5
900	915	1,7
1200	1218	1,5
1477	1491	1,0

Com isto concluiu-se que o erro não seria significativo e, portanto, foram escolhidos os variadores anteriormente referidos.

#### 4.4 Quadro Elétrico

O primeiro passo na construção do quadro elétrico foi, após a definição das funcionalidades e componentes do sistema, a realização do esquema elétrico apresentado no Anexo B. Para tal foi utilizado o software SolidWorks Electrical. Com isto foi mais fácil determinar o número de entradas e saídas, analógicas e digitais, do autómato, bem como dos variadores de frequência.

Permitiu ainda definir os componentes a utilizar e realizar o dimensionamento dos dispositivos de proteção dos equipamentos e cabos elétricos (disjuntores, fusíveis...).

De seguida, procedeu-se à definição do equipamento de refrigeração. Este equipamento é de extrema importância no quadro elétrico, uma vez que a temperatura ambiente é bastante elevada e, devido principalmente à existência de três variadores de velocidade, a potência dissipada no interior do quadro é considerável.

Com os componentes do quadro totalmente definidos, procedeu-se então à definição do layout do interior do quadro e à escolha da localização do mesmo.

Por fim, foi necessário definir o quadro a montante de onde provém a alimentação para o quadro do sistema. Uma vez que o mecanismo faz parte da máquina de impregnação da tela e tendo em conta que o quadro da mesma é um dos que se encontra mais próximo do sistema, este foi o escolhido para tal efeito. Assim sendo foi também necessário dimensionar o disjuntor e os cabos elétricos que realizariam a ligação dos dois quadros.

#### **4.4.1 SolidWorks Electrical 2017**

O SolidWorks Electrical é um software de desenho de esquemas elétricos com muitas funcionalidades que facilitam o desenvolvimento dos mesmos.

Este programa contém uma biblioteca de símbolos e peças do fabricante integrada que para além de permitir uma representação mais rápida de componentes como interruptores, disjuntores, fusíveis, motores, etc. permite ainda realizar o desenho do layout do quadro.

Ações como, por exemplo, gerar réguas de bornes, realizar a ligação de condutores entre páginas e referenciar contactos são bastante automatizadas neste software, pelo que conduz a uma grande poupança de tempo, principalmente na elaboração de esquemas elétricos de grande dimensão.

#### 4.4.2 Autômato

A escolha do autômato foi realizada de modo a que este cumprisse o MES – “Machine Equipment Standard” da Continental, ou seja, foi utilizado um autômato igual àqueles que são utilizados nas outras máquinas da empresa, para que seja mais fácil gerir os stocks.

O autômato utilizado foi então da Beckhoff, com a referência CX5020-0121. Este possui um barramento de alimentação dos seus módulos a 24V que encaixam uns com os outros através de patilhas sendo a tensão distribuída de uns para os outros através desse barramento. Para além disso é necessária uma alimentação independente para o seu CPU.

As entradas e saídas definidas para o autômato foram as seguintes:

<b>Entradas Digitais</b>	<b>Saídas Digitais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variador 1 pronto a funcionar;</li> <li>• Variador 1 em marcha;</li> <li>• Variador 1 em falha;</li> <li>• Variador 2 pronto a funcionar;</li> <li>• Variador 2 em marcha;</li> <li>• Variador 2 em falha;</li> <li>• Variador 3 pronto a funcionar;</li> <li>• Variador 3 em marcha;</li> <li>• Variador 3 em falha;</li> <li>• Paragem Rápida;</li> <li>• Paragem de Emergência;</li> <li>• Falha no Ar Condicionado.</li> <li>• Velocidade do Tecido;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arranque do Variador 1;</li> <li>• Arranque do Variador 2;</li> <li>• Arranque do Variador 3;</li> <li>• Inverter Rotação dos Variadores 2 e 3;</li> <li>• Travões Motor 2 e 3;</li> <li>• Luz de Falha no Sistema;</li> <li>• Luz de Aviso;</li> <li>• Luz de Funcionamento Normal.</li> </ul>
<b>Entradas Analógicas</b>	<b>Saídas Analógicas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrente Consumida no Motor 1;</li> <li>• Corrente Consumida no Motor 2;</li> <li>• Corrente Consumida no Motor 3;</li> <li>• Velocidade do Motor 1;</li> <li>• Temperatura do Motor 1;</li> <li>• Temperatura do Motor 2;</li> <li>• Temperatura do Motor 3;</li> <li>• Posição do Motor 2;</li> <li>• Posição do Motor 3;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comando de Velocidade do Motor 1;</li> <li>• Comando de Velocidade do Motor 2;</li> <li>• Comando de Velocidade do Motor 3.</li> </ul>

Para as entradas digitais foram escolhidos os módulos KL1404 apresentados na Figura 4.15. Estes possuem 4 inputs e 4 pontos de conexão a 24V.

Tendo em conta que são 12 entradas digitais, foram utilizados 3 destes módulos.

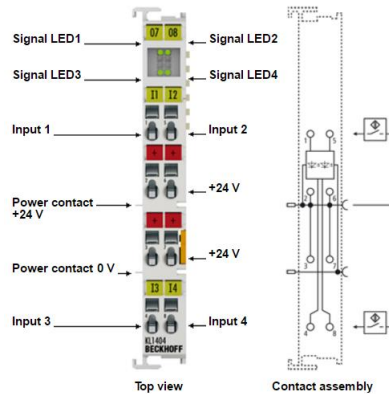


Figura 4.15 - KL1404

Os LEDs no topo do módulo indicam o valor booleano de cada uma das entradas. Quando ligados o valor é 1 e desligados é 0.

Passando para as saídas digitais, foram utilizados os módulos KL2404. Estes possuem 4 outputs e 4 pontos de conexão a 0V. A razão da escolha destas cartas é a compatibilidade com os inputs dos variadores de frequência ACS580.

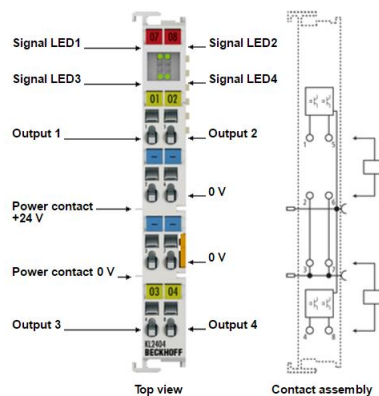


Figura 4.16 - KL2404

Estes módulos possuem, tal como as entradas digitais, LEDs que indicam o estado de cada uma das suas saídas.

No que diz respeito às entradas analógicas, estas dividem-se em 4 grupos diferentes:

- Sinais dos variadores (correntes e velocidade);
- Sinais dos PT100;
- Sinais dos Transdutores de Posição;
- Velocidade do tecido.

Para os sinais dos variadores foram escolhidas as cartas KL3054 que possuem 4 entradas analógicas e 4 pontos de conexão com a terra, servindo como potencial de referência para os inputs. Mais uma vez a escolha baseou-se na compatibilidade com os variadores.

Os LEDs que se observam na Figura 4.17 indicam se existe algum erro com algum dos inputs.

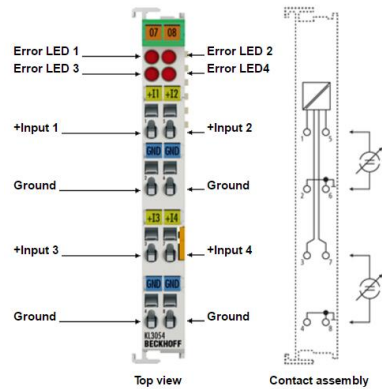


Figura 4.17 - KL3054

Para a leitura do sinal dos PT100, tendo em conta que os transdutores de temperatura são de dois fios, a carta escolhida foi a KL3204. Esta pode realizar a leitura de quatro PT100 diferentes.

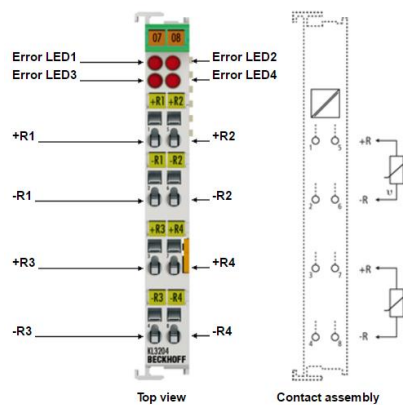


Figura 4.18 - KL3204

A resolução obtida com este módulo para a medição de temperatura é de 0,1°C.

Continuando com as entradas analógicas, para o sinal dos transdutores de posição foram utilizados os módulos KL3052. A razão desta escolha incide no sinal analógico a 3 fios enviado pelos transdutores da SICK.



A carta tem capacidade para 2 transdutores, sendo que possui 2 entradas, 2 pontos de conexão a 0V e 2 a 24V. Para além disso possui ainda 2 pontos de conexão “Shield” para minimizar o ruído do sinal.

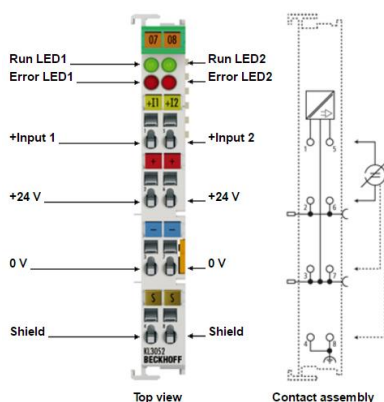


Figura 4.19 - KL3052

O sinal de todas as cartas de entradas analógicas referidas anteriormente é de 4 a 20 mA.

Para a medição da velocidade do tecido, uma vez que o codificador escolhido tem uma saída a 5 fios, foi necessário escolher uma carta especial para a sua leitura: a KL5111. Esta carta possui apenas entradas para um codificador incremental, ligado aos canais A, B, C, 24V e 0V. O *shield* também deve ser ligado, mais uma vez para minimização do ruído na transmissão do sinal.

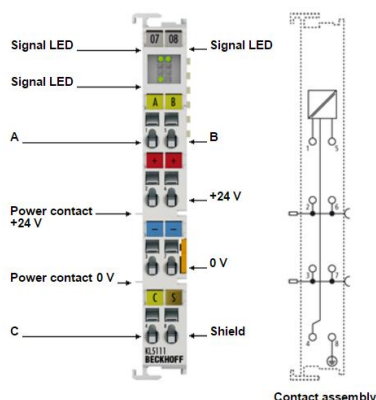


Figura 4.20 - KL5111

Quanto às cartas de saída analógica, o modelo escolhido foi o KL4424. Esta envia também um sinal de 4 a 20 mA.

A carta possui 4 saídas e 4 pontos de conexão a 0V. Mais uma vez esta opção deve-se à compatibilidade com os variadores de frequência.

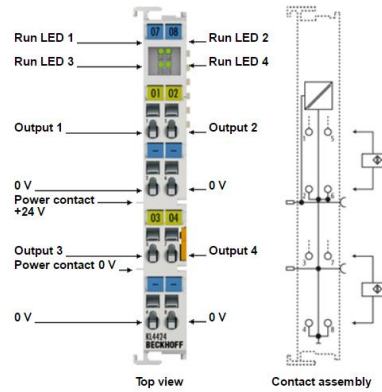


Figura 4.21 - KL4424

Para além das entradas e saídas, existiu a necessidade da aquisição de módulos adicionais para realizar outras funções:

- BK1250;
- KL9210;
- KL9010.

Uma vez que o automático utilizado está preparado para acoplamento de cartas E-Bus, o módulo BK1250 serve para realizar a conversão para K-Bus para que seja possível utilizar as cartas KL acima referidas. Esta opção foi tomada para que os componentes deste sistema estejam em conformidade com aqueles utilizados em outros projetos desenvolvidos na Continental.

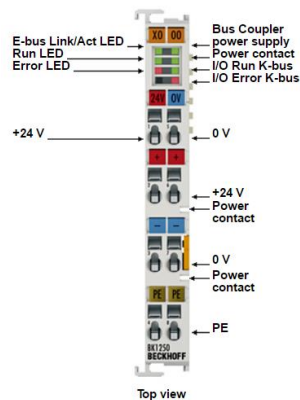


Figura 4.22 - BK1250

Relativamente ao módulo KL9210, a sua função passa por cortar a alimentação de todas as saídas do autómato, no caso de paragem de emergência.

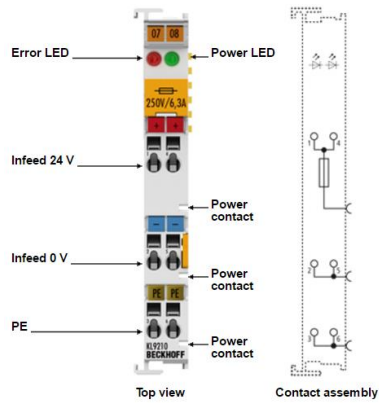


Figura 4.23 - KL9210

Por fim, o módulo KL9010 serve como terminal e é sempre necessário colocá-lo no final da configuração.

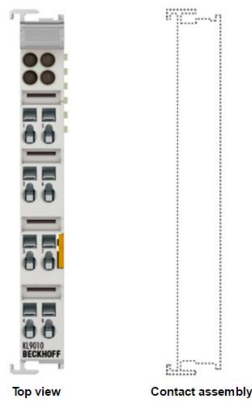


Figura 4.24 - KL9010

### 4.4.3 Layout

O layout do quadro elétrico está representado na Figura 4.25 e o respetivo esquema elétrico apresentado no Anexo B.

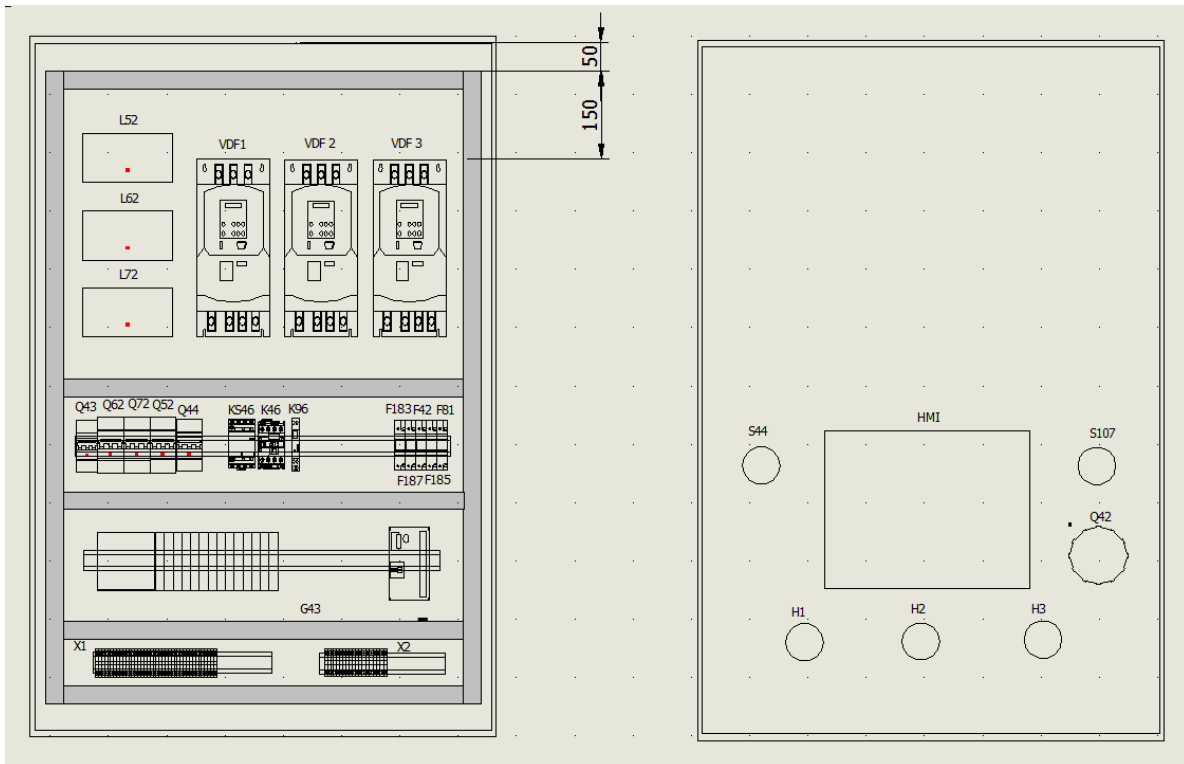


Figura 4.25 - Layout do quadro elétrico

É importante salientar que existe espaço livre no quadro para que seja possível, posteriormente, inserir algum componente que seja necessário para acrescentar alguma funcionalidade à máquina.

As dimensões do quadro são de 1200x800x400 [mm] (Altura x Largura x Profundidade). Os 200 mm representados no esquema, desde os variadores ao topo do quadro são de grande importância para a refrigeração dos mesmos, uma vez que é pelo topo que o ar ventilado (quente) é evacuado. Este valor vem indicado no catálogo do equipamento. O posicionamento dos componentes foi realizado de forma a agrupar os diferentes tipos de equipamento existentes.

Relativamente à porta do quadro, os componentes visíveis têm as seguintes funcionalidades:

- **S44:** Botoneira de rearme;
- **S107:** Botoneira de paragem rápida (afasta o rolo do tecido e pára o sistema);
- **Q42:** Interruptor Geral;

- **H1:** Luz Verde – Sistema Operacional;
- **H2:** Luz Amarela – Aviso;
- **H3:** Luz Vermelha – Falha;
- **HMI:** Interface Homem-Máquina.

A botoneira de emergência não foi colocada no quadro, uma vez que faz mais sentido encontrar-se junto ao mecanismo para que no caso da ocorrência de algum acidente, o operador consiga parar imediatamente a máquina.

#### 4.4.4 Refrigeração

As temperaturas bastante elevadas na localização do quadro elétrico iriam causar o mau funcionamento dos componentes elétricos, no caso da ausência de refrigeração. Assim sendo, este assunto foi debatido cuidadosamente de modo a obter a melhor solução possível.

Inicialmente procedeu-se ao cálculo da potência necessária para manter o interior do quadro elétrico a 30°C, considerando a convecção interior e exterior e a condução da sua parede:

$$R = \frac{1}{h_1 A} + \frac{l}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \quad (4.5)$$

$$R = \frac{1}{20 \times 2,24} + \frac{1,5 \times 10^{-3}}{52 \times 2,24} + \frac{1}{10 \times 2,24} = 0,067 \text{ K/W}$$

$R$  – Resistência térmica [K/W]

$h_1$  – Coeficiente de convecção no exterior [W/m<sup>2</sup>.K]

$h_2$  – Coeficiente de convecção no interior [W/m<sup>2</sup>.K]

$l$  – Espessura da chapa [m]

$k$  – Coeficiente de condução da chapa [W/m.K]

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} + P_d \quad (4.6)$$

$$\dot{Q} = \frac{55 - 30}{0,067} + 250 = 623 \text{ W}$$

$\dot{Q}$  – Potência a dissipar [W]

$\Delta T$  – Diferença de temperatura [°C]

$P_d$  – Potência dissipada no interior do quadro [W]

A potência dissipada é a soma do calor libertado pelo variador (84 W) que comanda o motor de tração do rolo, pela indutância correspondente (80 W), pela fonte de alimentação (24 W) e, uma vez que os outros dois variadores se vão encontrar quase sempre desligados foi apenas considerada 20 % da dissipação de calor de cada um e das respetivas indutâncias (66 W). Conhecendo a potência a dissipar, foi necessário definir qual o tipo de refrigeração a utilizar.

Inicialmente, pensou-se em adquirir um ar condicionado, mas devido à grande quantidade de resíduos em suspensão no ar junto ao quadro elétrico, era de esperar que rapidamente os filtros do ar condicionado saturassem, causando o seu mau funcionamento.

A hipótese colocada posteriormente foi o uso de um “blower” que, como o nome indica, destinar-se-ia a “soprar” ar frio para o interior do quadro. A utilização deste equipamento previa que a “pickagem” do ar fosse realizada no exterior (diminuindo a potência necessária, uma vez que a temperatura ambiente no exterior seria mais baixa) evitando assim o problema dos resíduos. No entanto, em dias de chuva, a humidade poderia ser problemática para os componentes elétricos uma vez que iriam existir trocas de ar entre o exterior e o interior do quadro. Assim sendo, a solução que evita ambos os problemas acima referidos seria um permutador de calor ar/água, uma vez que não existiria nenhuma troca de ar com o interior do quadro, nem com o equipamento de refrigeração.

Após análise do catálogo da Rittal e discussão com o fornecedor, a solução adquirida foi o permutador 5573500 apresentado na Figura 4.26.



Figura 4.26 - Permutador Ar/Água Rittal 3373500

Como é possível verificar através da Figura 4.27, o permutador é capaz de dissipar 680 W para manter o quadro a 30 °C quando a água de refrigeração se encontra a 20 °C, sendo então um valor superior àquele que é necessário, pelo que cumpre a função desejada.

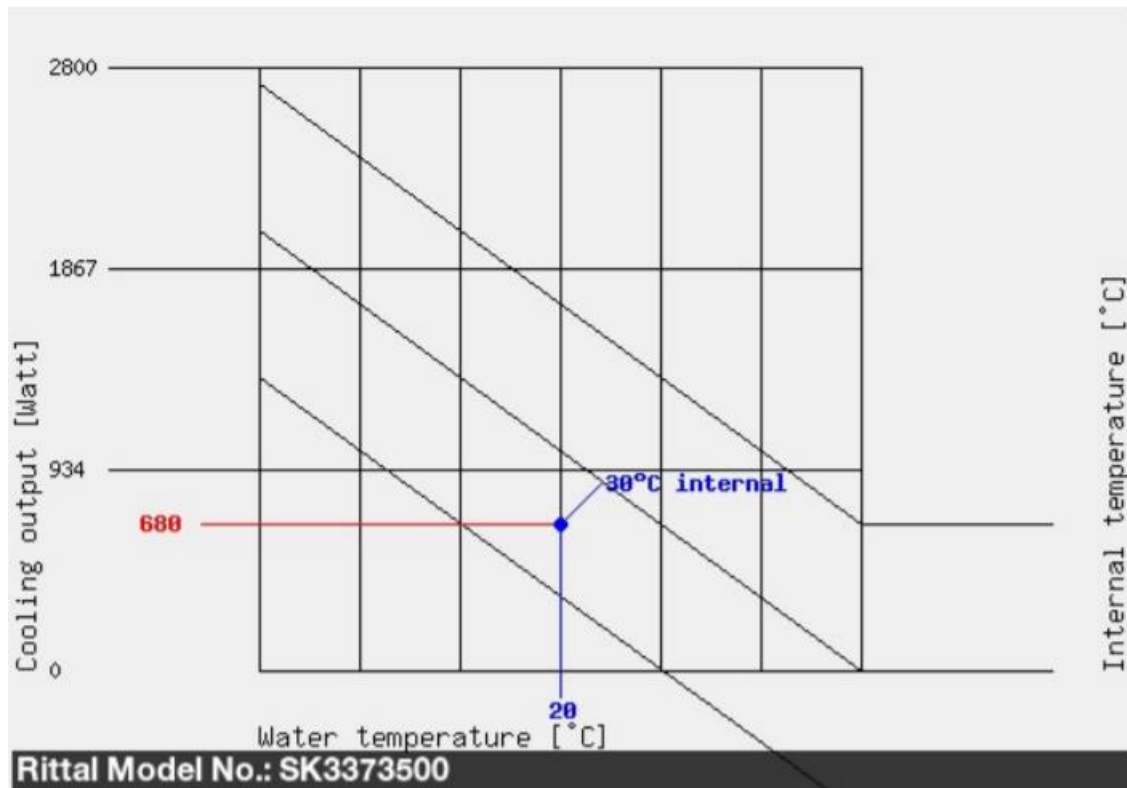


Figura 4.27 - Gráfico da potência de arrefecimento do permutador em função da temperatura da água e da temperatura interior desejada

#### 4.4.5 Localização

Os principais critérios no que toca ao posicionamento do quadro, passam pela temperatura ambiente e pela visibilidade da máquina a partir desse local.

A zona em questão deveria já possuir uma estrutura de fixação pertencente à máquina de impregnar, para evitar a construção de uma nova.

De forma a que a temperatura ambiente fosse o mais baixa possível, escolheu-se uma zona ligeiramente afastada da estufa, onde os vapores que evacua da mesma não aquecessem o quadro.

Para que fosse possível uma melhor visualização do posicionamento do rolo móvel, o ideal seria que ao operar a HMI do quadro elétrico, o operador se posicionasse perpendicularmente a esse movimento. No entanto, devido às chapas onde apoiam as carruagens e os atuadores, a visibilidade nessa posição seria muito reduzida.

Assim sendo, posição escolhida para o quadro vem representada na Figura 4.28.

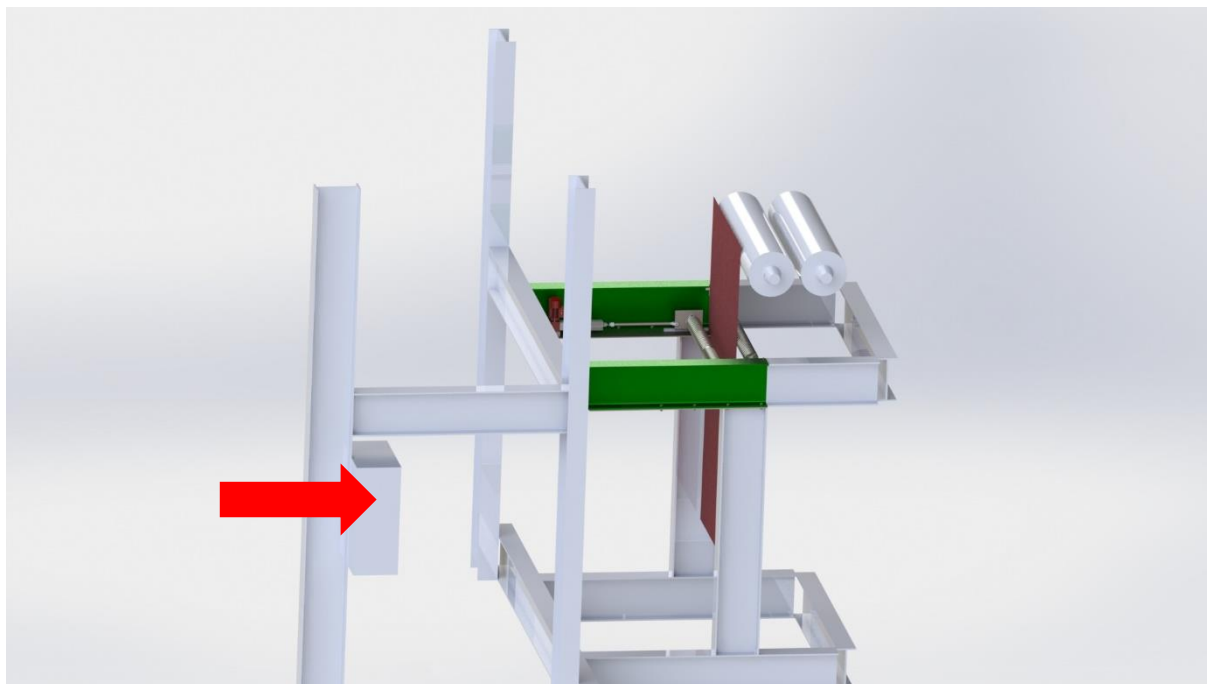


Figura 4.28 - Localização do quadro elétrico

Na Figura 4.29 é possível ver-se a perspetiva do operador da localização do quadro.



Figura 4.29 - Perspetiva do operador do local do quadro elétrico



## **5 Programação do Sistema**

### **5.1 Programa**

O programa que realiza o controlo do sistema (“Main”), contém quatro subprogramas que dizem respeito ao controlo de posição e velocidade do rolo espiralado, aos alarmes do sistema e também à conversão dos sinais enviados e recebidos pelo autómato. Este foi realizado no software “Twincat”.

#### **5.1.1 Twincat PLC Control & System Manager v2.11**

Tendo em conta que o autómato utilizado neste projeto é da marca Beckhoff, o software utilizado para o desenvolvimento do programa de controlo do sistema é também da mesma empresa e é denominado de Twincat.

Este software contém algumas aplicações, das quais duas foram extremamente importantes para a programação: PLC Control e System Manager.

A primeira permite desenvolver o programa em diversas linguagens como texto estruturado, blocos, “ladder”, etc. Contém ainda bibliotecas com blocos pré-definidos como por exemplo o controlador PID utilizado neste projeto.

A segunda aplicação mencionada permite realizar a comunicação com o autómato e tem funcionalidades extremamente úteis, tais como a deteção automática dos módulos acoplados e a visualização do estado das variáveis de entrada e saída do PLC via gráfica.

### 5.1.2 Subprograma “Posição”

O subprograma relativo ao controlo da posição do rolo espiralado é o mais complexo relativamente a todos aqueles que compõem este programa. Em grande parte, esta complexidade está associada ao facto de existirem várias condições associadas ao início e paragem do movimento de posicionamento do rolo.

A posição assume valores entre -100 mm e 50 mm, sendo que o zero é definido na linha do tecido. Esta escala faz com que seja mais intuitiva para o operador a visualização do valor de penetração no tecido, uma vez que corresponde diretamente à posição do rolo. O valor de posição poderá ser escolhido através de receitas no modo automático, ou através de um “slider” no modo manual, como será explicado mais aprofundadamente no ponto 5.2.

No que diz respeito à paragem do sistema, existem três possibilidades: uma paragem em que o rolo recua na totalidade e para na posição -100 mm, uma paragem rápida através de uma botoneira no quadro elétrico, ou no caso da ocorrência de alguma falha crítica em que este para na posição -10 mm e, por fim, a paragem de emergência em que o sistema é imediatamente imobilizado na posição em que se encontra. Nos dois últimos casos, é necessário rearmar o sistema.

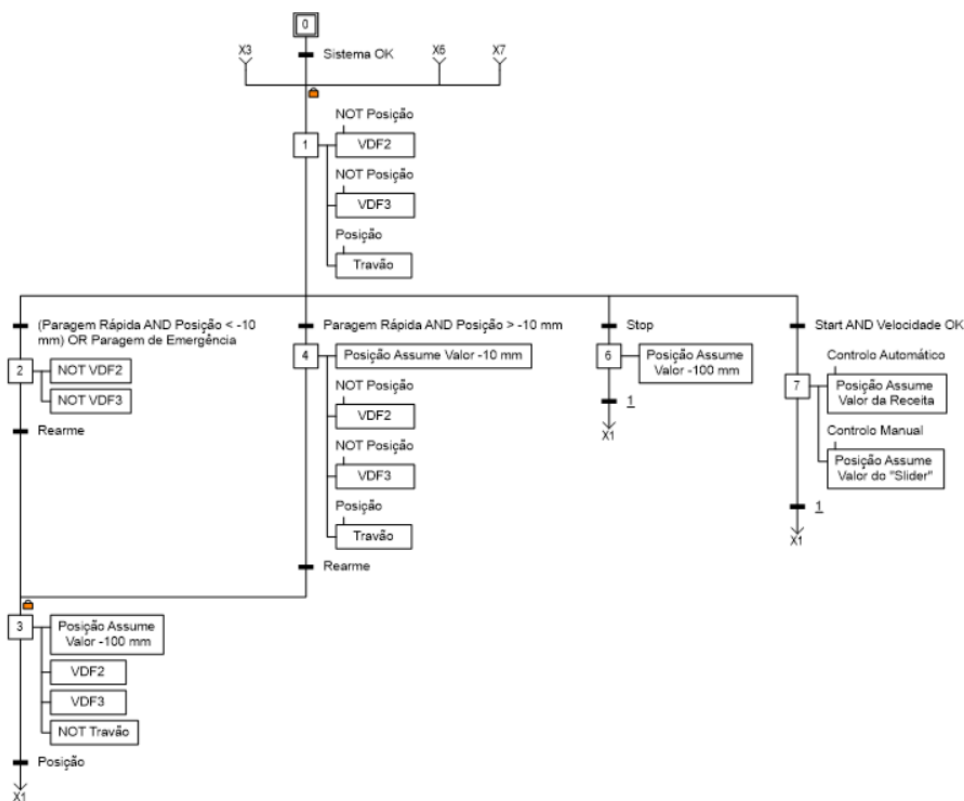


Figura 5.1 - Grafcet de base para o subprograma "Posição"

O Grafcet da Figura 5.1, representa o raciocínio lógico de base para a elaboração deste subprograma. Pode-se verificar através da sua análise que quando o rolo espiralado atinge a posição desejada, o travão é acionado e os variadores de frequência (VDF) são desligados. É ainda possível verificar que quando o valor da posição é inferior a -10 mm e é acionada a paragem rápida, o sistema para na posição em que se encontra.

Um exemplo do código utilizado na programação em Twincat, apresenta-se na Figura 5.2 e diz respeito à definição do valor da posição. É possível verificar que quando o sistema está em “Start” no modo manual, o valor de “Posi” é igual a si próprio (alterado diretamente no “slider”). No entanto, se o modo automático for atuado, a variável “Controlo\_Manual” é desativada e o valor de posição assumido é o da variável “Mem\_Pos” que corresponde ao valor gravado na receita para um determinado artigo. Quando o valor de “Start” vai a 0, o valor de “Posi” passa imediatamente a -100 mm, à exceção de quando o valor lógico de “Paragem\_Rápida” passa a 1, em que “Posi” assume o valor -10 mm. No anexo A estão apresentados os blocos do Twincat para melhor compreensão deste código.

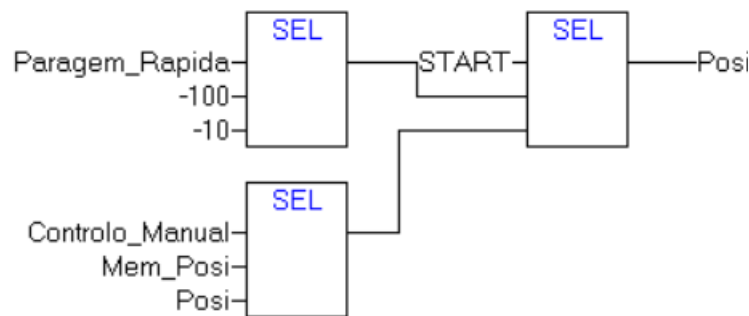


Figura 5.2 - Seleção do valor de posição

Este subprograma garante ainda que, após o operador clicar em “Start” na HMI, o movimento de posicionamento do rolo não inicia de imediato, uma vez que é necessário garantir que a velocidade do rolo é no mínimo igual à do tecido, para que este não seja danificado. Só a partir desse momento é que o movimento é iniciado.

Outra funcionalidade existente neste subprograma garante que, se por algum motivo existir uma diferença entre a posição das duas extremidades do rolo superior a 5 mm, o atuador que se encontra mais avançado “espera” pelo outro até reduzir essa diferença.

O sinal de saída analógico enviado para os variadores é obtido através de um bloco PID no Twincat. Este tem as seguintes variáveis de entrada:

- *fSetpointValue*: Valor de posição introduzido pelo utilizador na HMI;
- *fActualValue*: Valor de posição lido pelo transdutor;

- *bReset*: Reset das variáveis de estado internas e do output;
- *fCtrlCycleTime*: Tempo de ciclo do controlador em segundos;
- *fKP*: Ganho proporcional;
- *fTn*: Tempo integral;
- *fTv*: Tempo derivativo;
- *fTd*: Tempo de amortecimento derivativo.

Já as variáveis de saída são apenas duas:

- *fCtrlOutput*: Sinal de saída de posição;
- *nErrorStatus*: Indica a existência de algum erro no controlador.

Assim sendo, na Figura 5.3 é apresentado o controlador PID utilizado neste programa (um para cada motor de posicionamento).

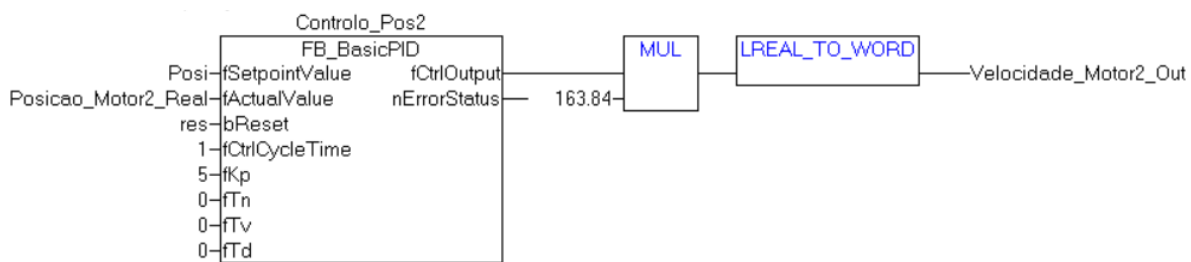


Figura 5.3 - Bloco PID de controlo de um dos motores de posicionamento

Por fim, apresenta-se na Figura 5.4 o código que aciona os travões dos motores de posicionamento que, como referido anteriormente, são atuados quando os transdutores de posição indicam ambos um valor igual àquele que é definido pelo utilizador na HMI (com um erro de  $\pm 0,1\text{mm}$ ) durante 2 s, de modo a garantir que a posição é realmente atingida.

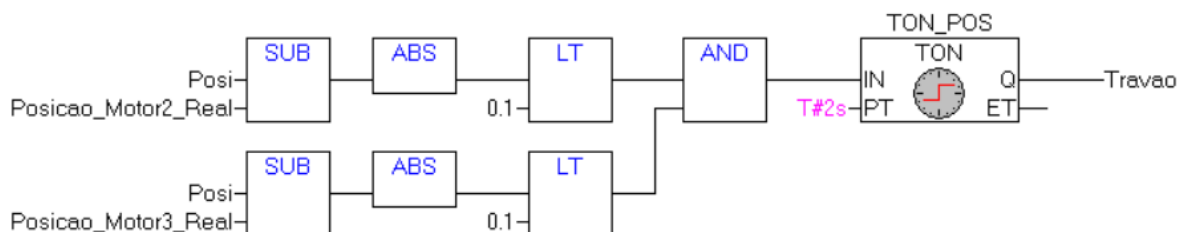


Figura 5.4 - Condição de travagem

### 5.1.3 Subprograma “Velocidade”

Neste subprograma pretendeu-se inicialmente definir as condições de arranque e paragem do motor que confere velocidade ao rolo espiralado. Este motor deve iniciar a marcha quando o operador clica em “Start” na HMI. Tal como no caso do posicionamento, o arranque só será possível se todos os motores se encontrarem operacionais e os variadores prontos a arrancar. O grafcet que serviu de base para esta programação encontra-se na Figura 5.5.

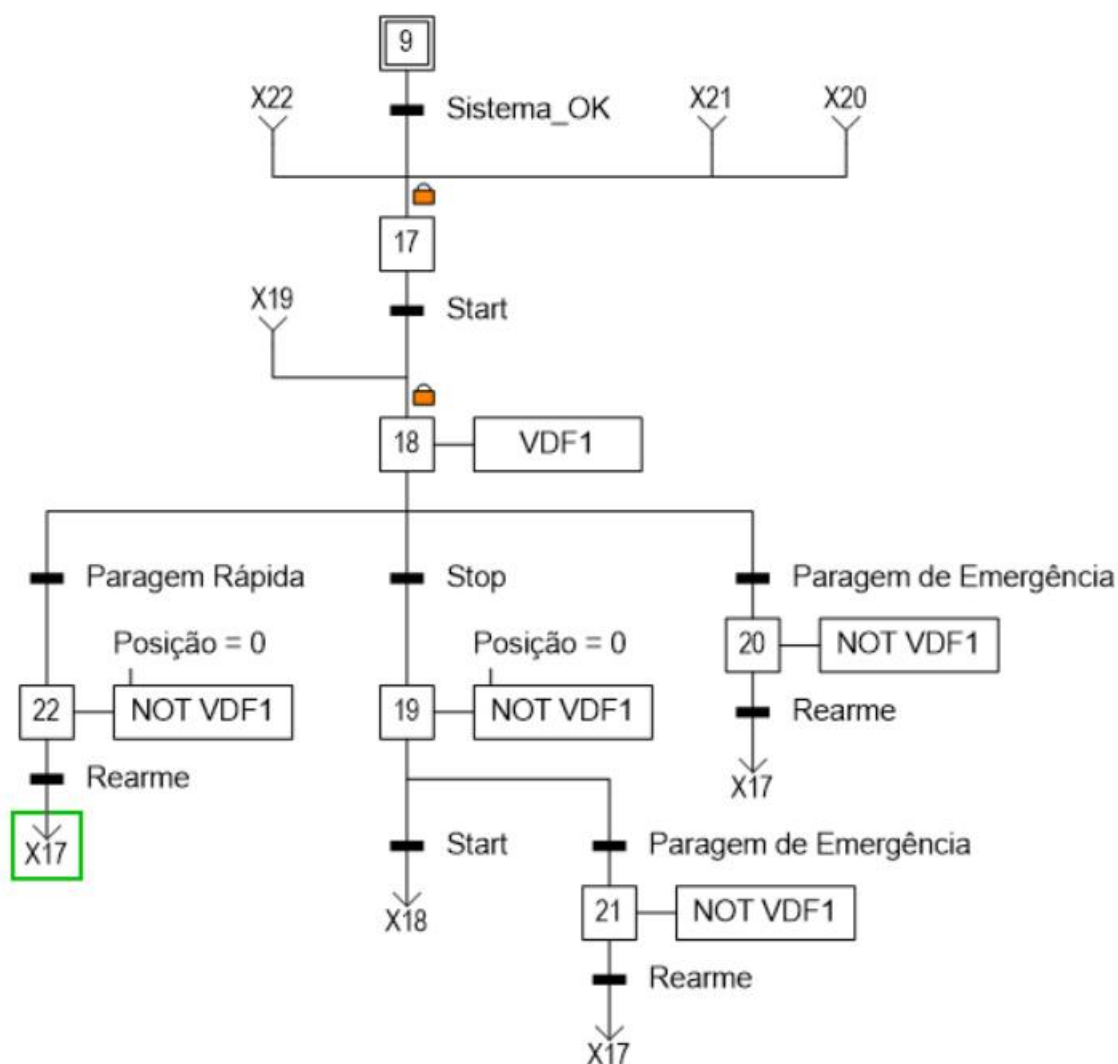


Figura 5.5 - Grafcet de base para o subprograma "Velocidade"

No caso de paragem normal ou rápida, o programa garante que o rolo só para a rotação quando se encontra atrás da posição 0 mm, de modo a não danificar o tecido. No entanto, no caso de paragem de emergência o rolo para imediatamente na posição em que se encontra, uma vez que neste caso se pretende garantir em primeiro lugar a segurança do operador, e não a integridade do tecido.

O sinal de velocidade enviado para o variador de frequência é independente da velocidade real do motor, pois este não é controlado em malha fechada e, portanto, será constante mediante a definição do operador. No programa, apenas será realizada a conversão do valor em percentagem introduzido na HMI para m/min (unidade intuitiva para os operadores da máquina de impregnar).

Por fim, podemos ver na Figura 5.6 o código que ativa a variável “Vel\_OK”, quando a velocidade do rolo é igual ou superior à do tecido, para que se possa dar início ao seu posicionamento.

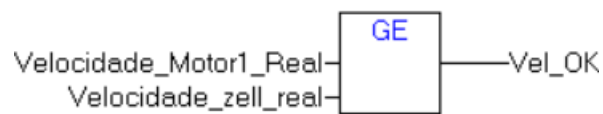


Figura 5.6 - Condição de velocidade necessária ao avanço do rolo

#### 5.1.4 Subprograma “Alarmes”

Neste subprograma pretende-se realizar a deteção de falhas no sistema que podem, ou não, ser críticas para o seu funcionamento. As falhas críticas englobam o excesso de temperatura dos motores (definido como 90 °C), falhas no variador tais como uma sobrecorrente ou sobretensão, temperatura excessiva do variador, perda de entradas analógicas, etc. A ativação de um alarme deste tipo, ativa de imediato a ação de paragem rápida referida anteriormente.

Outras falhas que não sejam críticas estão denominadas neste subprograma como avisos e passam pela deteção de temperaturas próximas do limite máximo ou abaixo do normal (podem indicar falha no transdutor de temperatura), erro superior a 5 % da velocidade indicada pelo variador relativamente à introduzida na HMI e, tempo de posicionamento do rolo ser superior a 30 s (o que faz recuar o rolo até o operador ordenar novo início).

Estes alertas são realizados não só na HMI, mas também através dos indicadores luminosos referidos no capítulo 4.3.3, existentes no quadro elétrico.

### 5.1.5 Subprograma “Conversor de Parâmetros”

Uma vez que as entradas analógicas que provêm dos transdutores e variadores chegam ao autômato e são lidas em formato “Word”, é necessário convertê-las para um valor real para que possam ser perceptíveis na HMI. Um exemplo dessa conversão está representado na Figura 5.7.

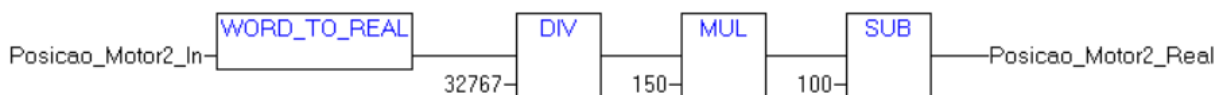


Figura 5.7 - Conversão do valor da entrada de posição de "word" para "real"

## 5.2 HMI

Como já foi dito anteriormente nesta dissertação, um dos principais objetivos no que diz respeito ao projeto da HMI, passou pela elaboração de uma interface intuitiva para os operadores que iriam interagir com a mesma. Assim sendo, optou-se por utilizar um monitor com ecrã tátil onde se valorizasse o aspeto gráfico, de modo a ser mais perceptível o efeito de cada ação realizada pelo operador.

### 5.2.1 Wonderware Indusoft Webstudio v8.0

O software utilizado para a criação da HMI foi o Wonderware Indusoft Webstudio v8.0, o que contribuiu para o aspeto acima referido, sendo que este programa possui uma biblioteca de símbolos bastante diversificada, permitindo a criação de um ambiente de trabalho visualmente agradável. Este programa baseia-se na programação em Visual Basic.

Na área de trabalho do programa, existe uma zona de edição de tela bastante grande onde é possível adicionar botões, símbolos, gráficos, etc.

Do lado esquerdo existe por definição um explorador de projeto que permite aceder rapidamente a todas as telas criadas, alarmes, receitas, “tags” do projeto e muitas outras funcionalidades.

De modo a estabelecer conexão com o autómato para importar e controlar as variáveis criadas no Twincat é necessário aceder à barra de ferramentas no topo da página, escolher o separador “Início” e clicar de seguida em “Conectar”, abrindo a página apresentada na Figura 5.8.

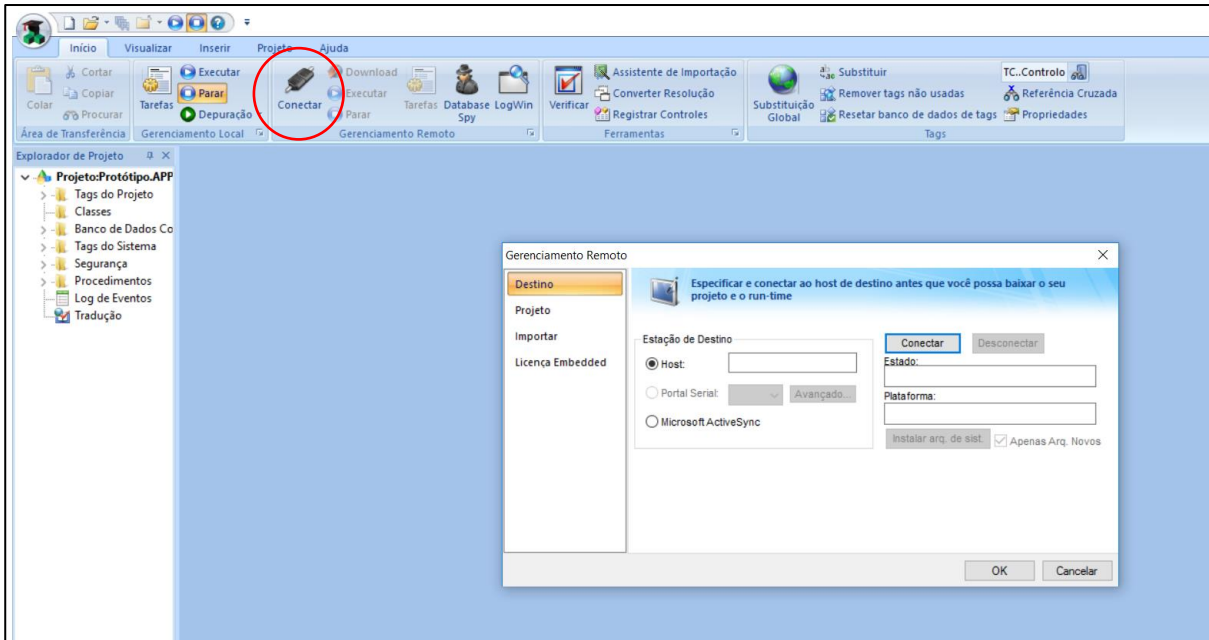


Figura 5.8 - Janela para conexão com autómato

Posteriormente é necessário introduzir o IP do autómato para que a conexão seja estabelecida.

## 5.2.2 Estrutura da HMI

O cabeçalho utilizado em todas as páginas principais da HMI (tela cheia) contém a seguinte informação:

- Logótipo da empresa;
- N° da HMI;
- Localização da HMI;
- Data e hora;
- Utilizador atual.

A HMI foi pensada para admitir um modo de utilização automático e manual, como é possível observar na Figura 5.9 que representa a estrutura da mesma.



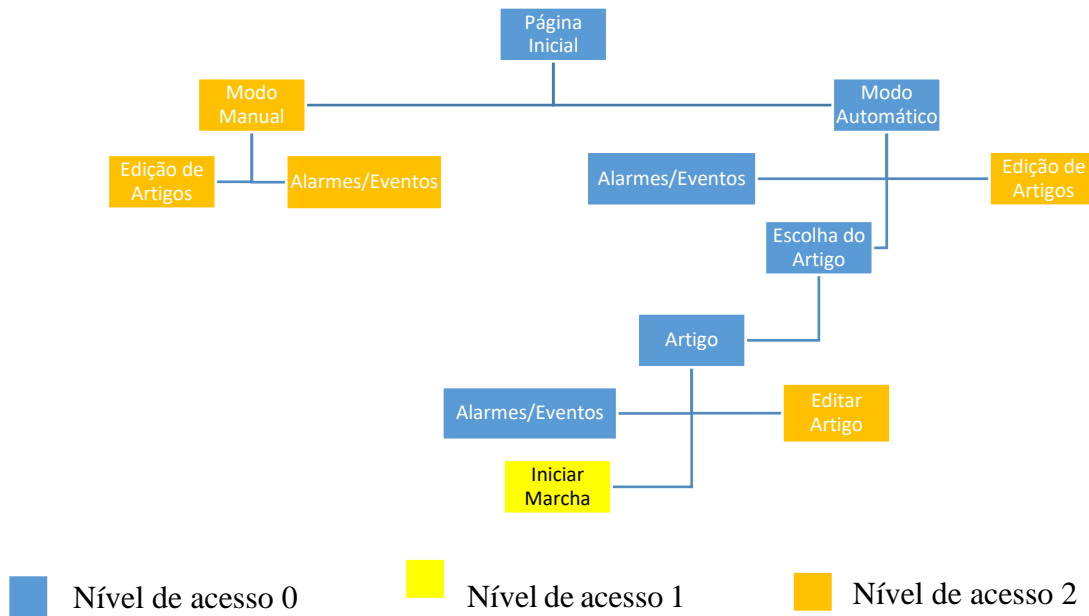


Figura 5.9 - Estrutura da HMI

A escolha do modo automático/manual é realizada na página inicial, através de dois botões como se pode ver na Figura 5.10. Para além disso, nesta página, é possível a visualização de todos os alarmes e eventos, bem como entrar/sair e criar nova conta de utilizador. À exceção da última, todas estas funcionalidades estão também disponíveis nas restantes páginas.



Figura 5.10 - Página inicial HMI

### 5.2.3 Modo Automático

O modo automático baseia-se na utilização de “receitas” com valores predefinidos (obtidos empiricamente) de posição (mm) e velocidade de rotação (% da velocidade do tecido com mínimo de 100 % e máximo 125 %) do rolo móvel correspondentes a cada artigo a ser tratado.

Como é possível verificar na Figura 5.11, para criar a lista de receitas basta dirigir-se à secção das tarefas no canto inferior esquerdo do programa e clicar com o botão direito do rato em “Receitas” e, posteriormente, clicar em “Inserir”. De seguida surge uma página com uma tabela para colocar as “Tags” que serão incluídas na receita que neste caso correspondem ao nome do artigo e respetiva posição e velocidade.

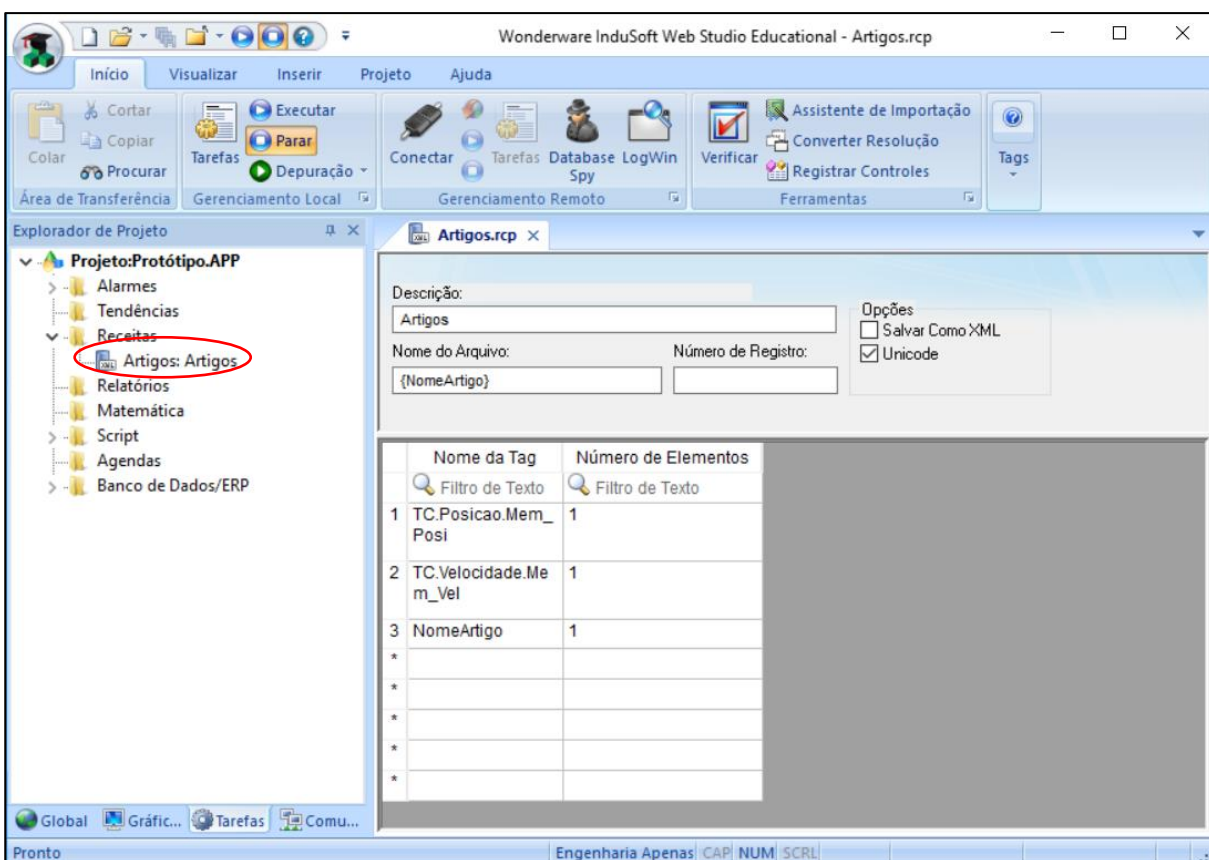


Figura 5.11 – Página para criação de receitas

Na primeira página do modo automático, é onde se procede à escolha do artigo a tratar. É nesta página que é possível interagir com a receita criada através dos botões que permitem editar, criar, eliminar e escolher um artigo da mesma.

Para criar artigo, o código utilizado é bastante simples e está apresentado na Figura 5.12. Uma vez que não existe um código para editar os parâmetros dos artigos, foi utilizado o correspondente à criação de um novo, restringindo o acesso à alteração do seu nome. Com isto, o programa substitui o artigo anterior por um novo, com a mesma designação, mas com os novos parâmetros de velocidade e posição desejados.

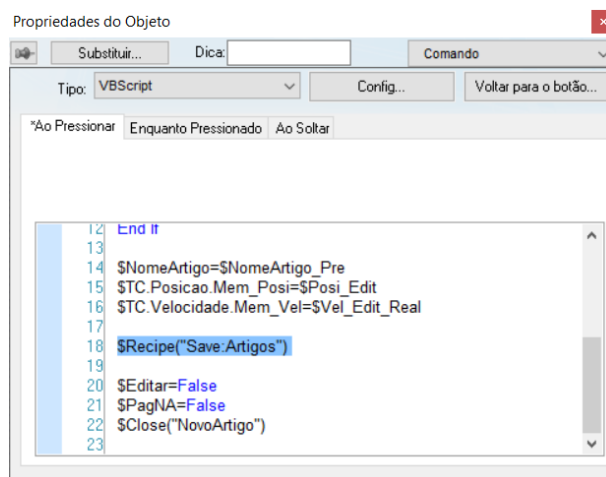


Figura 5.12 - Código para criar ou editar artigo

O código para a escolha de artigo, apresentado na Figura 5.13, apresenta maior complexidade que os anteriores.

Este código permite procurar os ficheiros correspondentes a todas as receitas criadas (ficheiros .DAT) e seleccionar o artigo desejado substituindo os valores das variáveis correspondentes aos valores de velocidade, posição e nome para esse mesmo artigo.

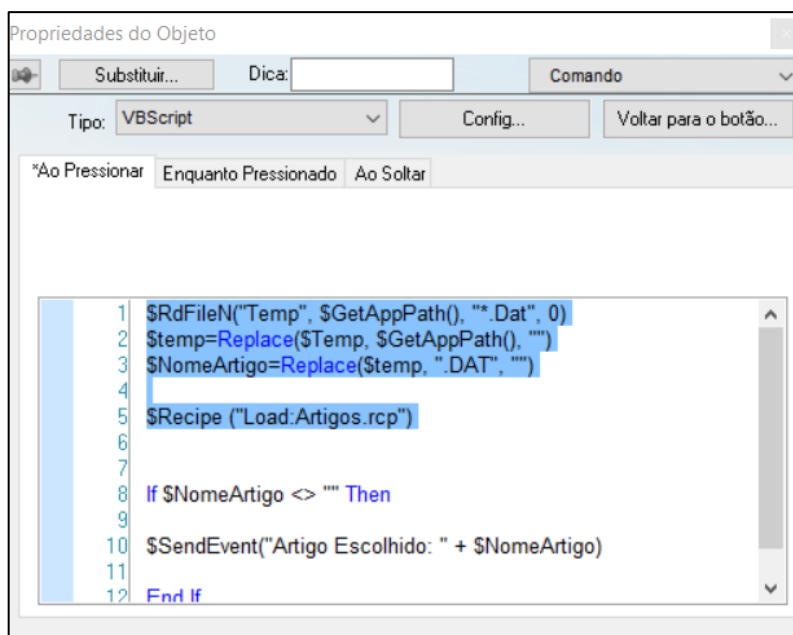


Figura 5.13 - Código para escolha de artigo

O método das receitas foi pensado de forma a minimizar o erro humano, uma vez que não é necessária a introdução de novos valores aquando da mudança de artigo a tratar. Basta então seleccionar o nome do têxtil e dar a ordem de marcha.

Para além da escolha do artigo é ainda possível aceder à informação mais relevante relativa a cada motor. No caso de existir uma falha em qualquer um dos motores, esta é assinalada como mostra a Figura 5.14, com um piscar vermelho intermitente.

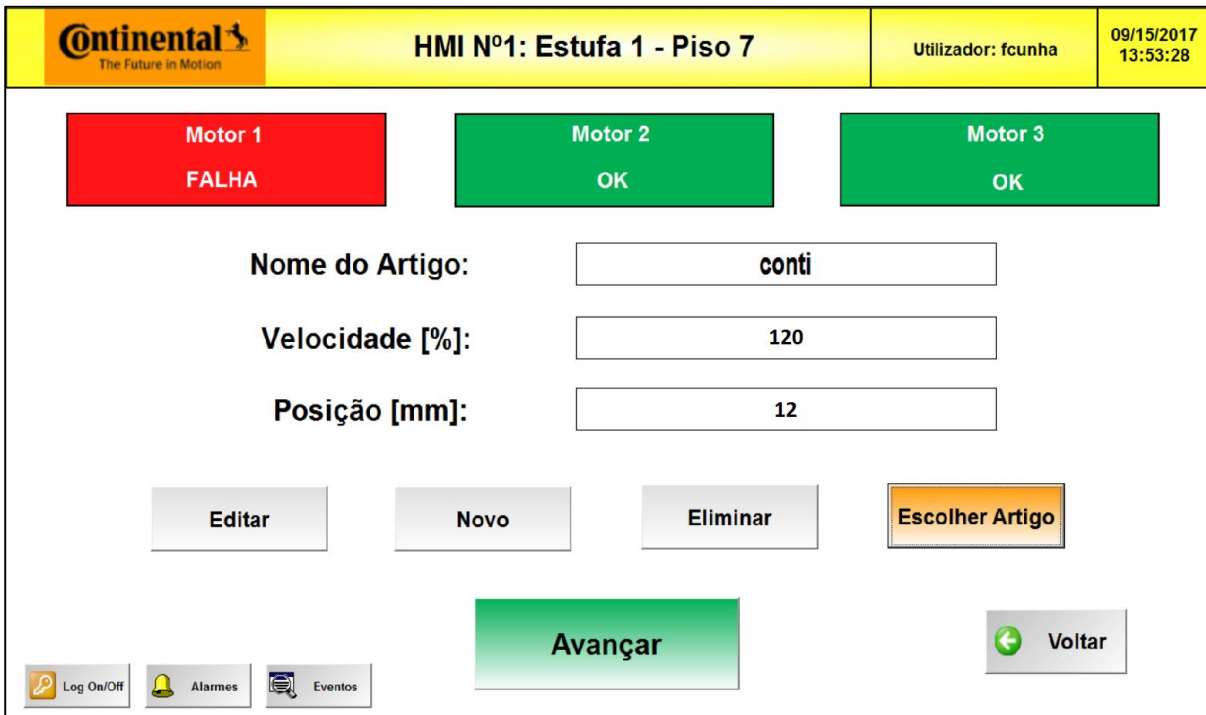


Figura 5.14 - Página de escolha de artigo

Para tal, foi necessário clicar no retângulo representante de cada um dos motores, aceder ao separador “Gráficos” no topo da janela e, de seguida, clicar em “Cor”. A janela da Figura 5.15 surgiu e colocou-se em “LimiteExpr” a “tag” relativa à falha do motor e o estado lógico correspondente às cores desejadas.

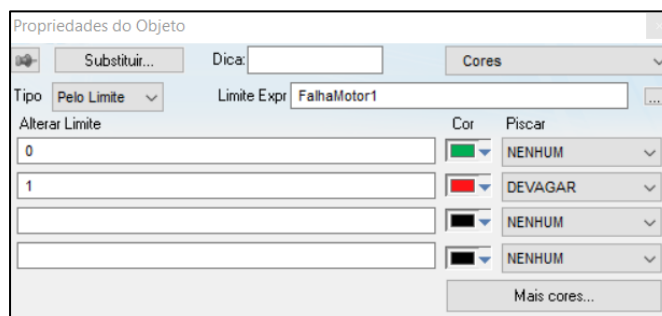


Figura 5.15 - Janela de edição de cores

Após realizada a escolha do artigo a tratar é então possível avançar para a página de início de marcha apresentada na Figura 5.16.

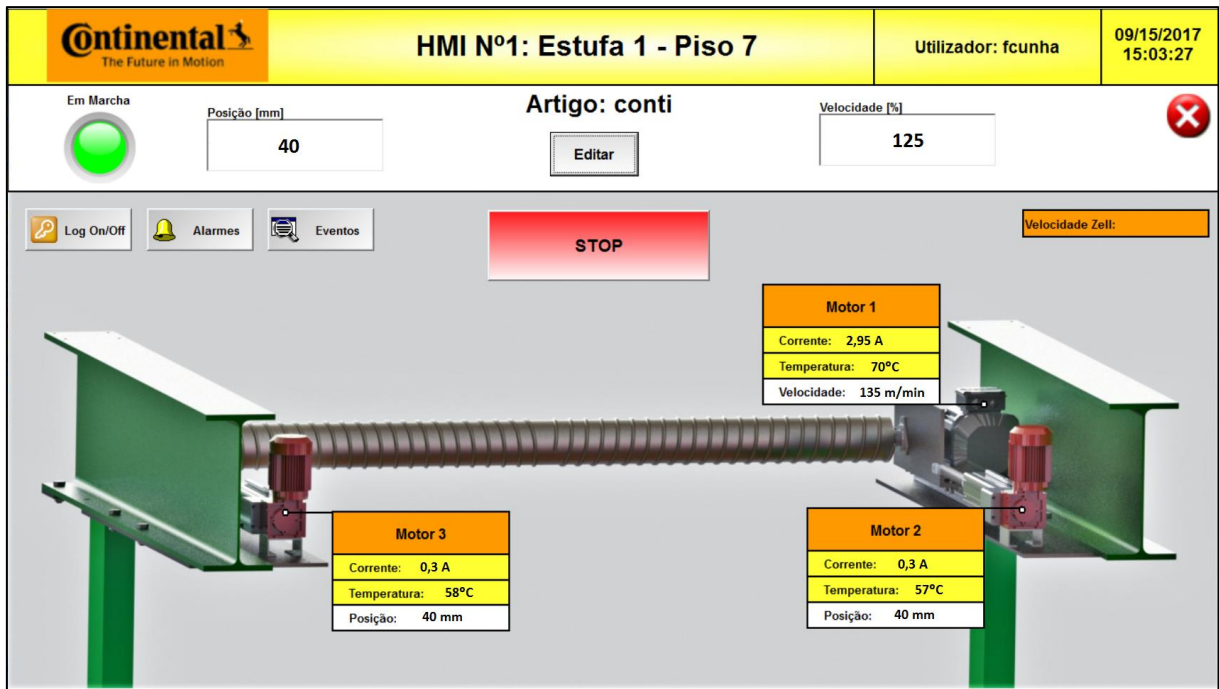


Figura 5.16 - Página de início de marcha

Já nessa página é possível visualizar os valores da receita escolhida no que diz respeito aos valores de velocidade e posição. É também possível realizar a sua edição.

Existe também um botão de Start/Stop que permite iniciar ou parar o mecanismo, respetivamente. Existe um sinalizador luminoso virtual que indica se o sistema está ou não em funcionamento.

Para além disso, é possível visualizar a todo o momento os parâmetros mais relevantes relativos aos três motores (temperatura, corrente, posição/velocidade). Assim torna-se mais fácil acompanhar o processo e até prever/prevenir a existência de uma falha pela variação do valor desses parâmetros. Quando os valores da temperatura e da corrente se encontram dentro do que é expectável, o fundo assume a cor verde, quando os valores se aproximam do limite máximo este passa a amarelo e no caso dos valores se encontrar fora dos limites o fundo assume a cor vermelha.

No caso da existência de uma falha, o sistema para e existe uma janela que informa da ocorrência e é também gerado um alarme. A falha é assinalada com a cor vermelha a piscar intermitentemente na legenda do motor em que esta ocorrer.

Apenas será possível iniciar novamente o tratamento quando a falha for corrigida.

### 5.2.4 Modo Manual

No que diz respeito ao modo manual, o objetivo passa por permitir novos valores dos parâmetros de posição e velocidade para os artigos já existentes no sistema e também conseguir obter esses valores com maior rapidez para novos artigos que sejam posteriormente introduzidos.

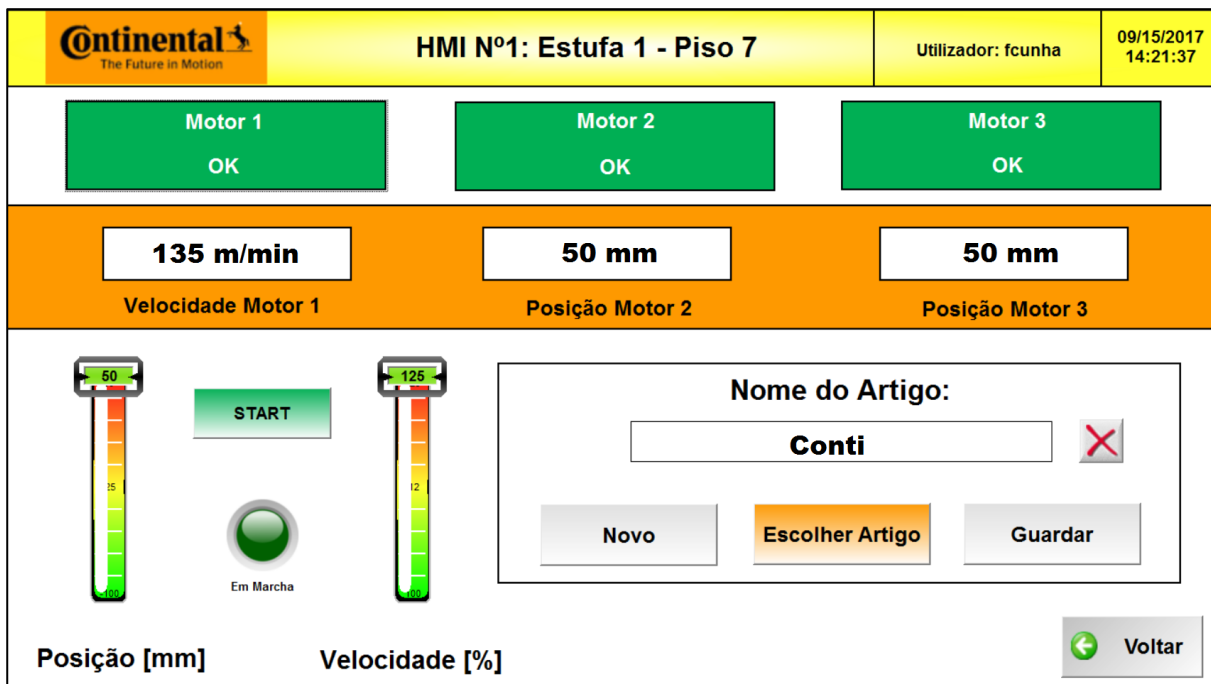


Figura 5.17 - Página de controlo manual

Como podemos ver na Figura 5.17, o controlo manual é realizado através de dois “sliders”. Estes permitem controlar individualmente a posição e velocidade do rolo móvel em “tempo real”. Assim, é possível realizar pequenos ajustes dos valores destes parâmetros sempre com total perceção daquilo que está a acontecer ao tecido ao fazer essas alterações. Com isto, consegue-se perceber quais os valores que surtem um efeito mais eficaz no desdobramento da tela, bem como obter os valores limite para os quais o tecido começa a ser danificado pelo mecanismo.

Quando é pretendido realizar alterações num artigo existente, basta clicar em “Escolher Artigo” e seleccionar aquele que se deseja alterar, fazendo posteriormente variar os valores de posição e velocidade e guardando as alterações. Para criar um novo artigo clica-se em “Novo” e o processo de definição dos parâmetros é semelhante.

Na página é possível visualizar o estado de cada motor, tal como os seus parâmetros de funcionamento clicando sobre cada um deles.

### 5.2.5 Alarmes e Eventos

No meio industrial, ter uma total percepção daquilo que está a acontecer, ou que aconteceu previamente na máquina é de extrema importância, sendo que foram criadas duas páginas na HMI para esse efeito: uma de alarmes e outra de eventos.

Os alarmes permitem informar o operador da existência de falhas no sistema. No caso de se verificarem as condições para gerar um alarme, existe um botão em todas as páginas com a legenda “Alarmes” que pisca intermitentemente a vermelho até o alarme ser reconhecido. Ao clicar nesse mesmo botão, uma página com a descrição de todos os alarmes ativos abrirá, onde é também indicada a data da ocorrência e nome da “tag”. Ao realizar um duplo clique sobre os mesmos, é feito o seu reconhecimento.

Existe ainda no topo da página de alarmes a possibilidade de aceder ao seu histórico como se pode verificar na Figura 5.18. Nesse caso é possível visualizar todos os alarmes gerados anteriormente, a hora do seu reconhecimento e também o tempo de normalização.

✓	Hora de ativ...	Nome da Tag	Mensagem
✓	08/04/2017 08:57:37	TC..Temper...	Temperatura Motor 2 Baixa (Provável falha de Pt100)
⚠	08/04/2017 08:57:37	TC..Temper...	Temperatura Motor 3 Baixa (Provável falha de Pt100)
⚠	08/04/2017 08:57:37	TC..Temper...	Temperatura Motor 1 Baixa (Provável falha de Pt100)

Figura 5.18 - Página de alarmes

No caso do mecanismo de eliminação de rugas, alguns exemplos de alarmes são:

- Temperatura dos motores demasiado elevada;
- Corrente dos motores demasiado elevada;
- Falha no variador de frequência...



Para criar estes alarmes foi necessário aceder ao separador “Inserir” e clicar em “Alarmes” como indicado na Figura 5.19. De seguida surge uma tabela onde é necessário inserir o nome da “tag”, o estado lógico da mesma e a mensagem a apresentar para o qual o alarme é acionado.

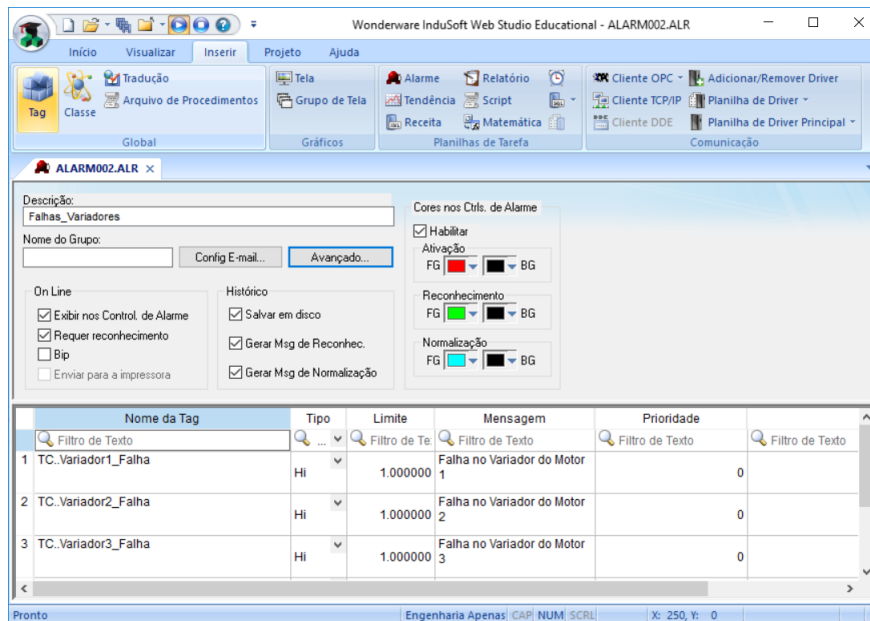


Figura 5.19 - Página para criação de alarmes

Já os eventos têm como função registar todas as ações efetuadas na HMI. Estes podem ser acedidos em qualquer página clicando sobre o botão com a legenda “Eventos”. Após realizada essa ação é aberta uma página que indica a hora do evento, o utilizador que realizou a ação e uma mensagem de descrição.

Para realizar o registo dos eventos é necessário utilizar o comando “\$SendEvent” seguido da mensagem a apresentar como se pode observar na Figura 5.20.

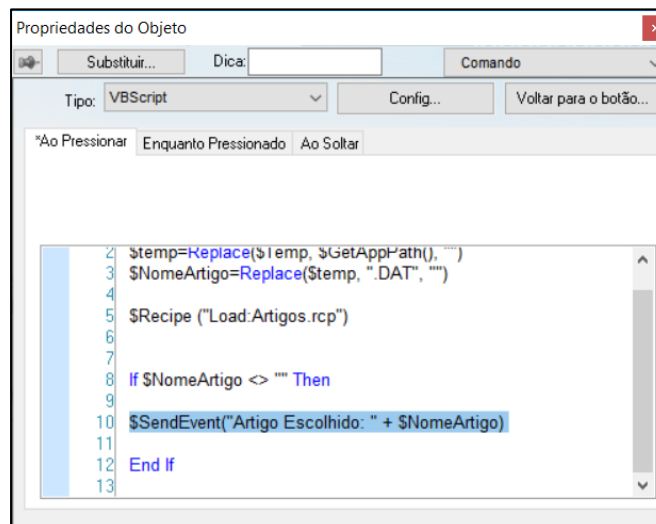


Figura 5.20 - Código para gerar eventos



Exemplos de eventos registados na HMI, como se pode verificar na Figura 5.21, são:

- Log On;
- Escolha do artigo;
- Início de tratamento;
- Escolha do modo de funcionamento...



Usuário	Tempo de evento	Mensagem
fcunha	08/04/2017 10:31:24	Controlo Automático Selecionado
fcunha	08/04/2017 10:04:26	Artigo Escolhido: conti
fcunha	08/04/2017 10:04:23	Controlo Automático Selecionado
fcunha	08/04/2017 10:04:07	LogOn

Figura 5.21 - Página de eventos



## 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

### 6.1 Conclusões

Este trabalho teve por objetivo a realização de um protótipo que permitisse eliminar as rugas na tela para pneus produzida pela Continental – Indústria Têxtil do Ave, formadas durante a sua impregnação.

Após uma análise de alguns mecanismos de tração transversal da tela existentes na máquina de impregnar e das zonas de maior incidência de formação de rugas, foi selecionado o melhor local para instalar o equipamento. Neste local, acima da primeira estufa, embora fosse o mais vantajoso para o projeto, existiam alguns problemas, tais como:

- Ambiente com bastantes resíduos em suspensão;
- Temperaturas elevadas junto às aberturas da estufa;
- Espaço reduzido.

Tais condições obrigaram a sucessivas alterações no projeto (ex.: layout, refrigeração do quadro, etc.) de forma a que a solução final apresentasse a eficiência e durabilidade pretendida.

Com o local de implementação escolhido foram dimensionados e selecionados os atuadores, e também projetado o quadro elétrico para o sistema.

Depois de todo o material a adquirir estar definido, foi necessário entrar em contacto com diversos fornecedores para obter a sua cotação, de maneira a possibilitar a aprovação do projeto. Esta fase do processo revelou-se bastante demorada, condicionando o cronograma previamente definido. Devido a este facto e aos prazos de entrega alargados, não foi possível a implementação do sistema.

Relativamente aos custos do sistema, prevê-se que o investimento realizado ronde os 20k€, sendo que a poupança anual prevista em termos de mão de obra (menos deslocações do operador ao 7º piso para desdobrar a tela) é de cerca de 9k€. Relativamente ao desperdício de

tecido, não é possível fazer uma previsão do retorno, uma vez que este sistema é um protótipo e não se consegue prever qual o seu impacto neste aspeto.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Com o projeto concluído, a próxima fase deste trabalho seria a implementação do sistema. Esta iniciar-se-ia com uma fase de testes fora da zona de instalação do mecanismo, onde o primeiro componente a testar seria o quadro elétrico e, de seguida, proceder-se-ia à verificação dos transdutores de posição e também dos variadores de frequência. Com isto, garantir-se-ia que aquando da instalação do mecanismo na máquina de impregnar os ajustes a realizar seriam mínimos.

Posteriormente seria extremamente vantajoso realizar a comunicação do mecanismo com a HMI da máquina de impregnar, para que fosse possível realizar o seu controlo e monitorização a partir do piso 0. Para tal, seria necessária a instalação de uma câmara de vídeo.

Após um período de experimentação e otimização do equipamento, o próximo passo seria replicar o mecanismo pelas diversas zonas críticas de formação de rugas identificadas na máquina de impregnar.

Existem ainda zonas no interior das estufas que necessitam de um mecanismo com o mesmo princípio, mas que requer outros cuidados devido às temperaturas ainda mais elevadas e também ao isolamento de vapores necessário. Teria então toda a lógica readaptar o projeto para a inclusão do mecanismo também nesses locais.

## 7 Referências








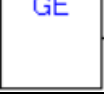
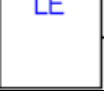




Benninger. (2011). *Tire Cord - Treatment Lines and Technology*,

*[http://www.benningergroup.com/uploads/tx\\_userdownloads/Tire\\_Cord.pdf](http://www.benningergroup.com/uploads/tx_userdownloads/Tire_Cord.pdf), site consultado a 5 de Fevereiro de 2017*

Lopes, A. (2016). *Otimização Energética e Implementação do Sistema ECO VAC na Máquina de Impregnar Tela para Pneus*, dissertação de mestrado realizada no Instituto Superior de Engenharia do Porto



## ANEXO A: Blocos Twincat PLC Control

Bloco	Descrição
	Saída vai a 1 quando ambas as entradas são verdadeiras
	Saída vai a 1 quando uma ou duas entradas são verdadeiras
	Mais conhecido como bloco “IF” Entrada 1: Condição; Entrada 2: Valor Assumido pela saída quando a condição não se verifica; Entrada 3: Valor assumido pela saída quando a condição se verifica.
	Converte a entrada no seu valor absoluto
	Multiplifica uma entrada pela outra
	Divide a primeira entrada pela segunda
	Subtrai a segunda entrada à primeira
	A saída é verdadeira se a primeira entrada for maior ou igual à segunda
	A saída é verdadeira se a primeira entrada for menor ou igual à segunda
	A saída é verdadeira se a primeira entrada for maior que a segunda
	A saída é verdadeira se a primeira entrada for menor que a segunda
	Converte a entrada de Word para Real.
	Temporizador On-Delay



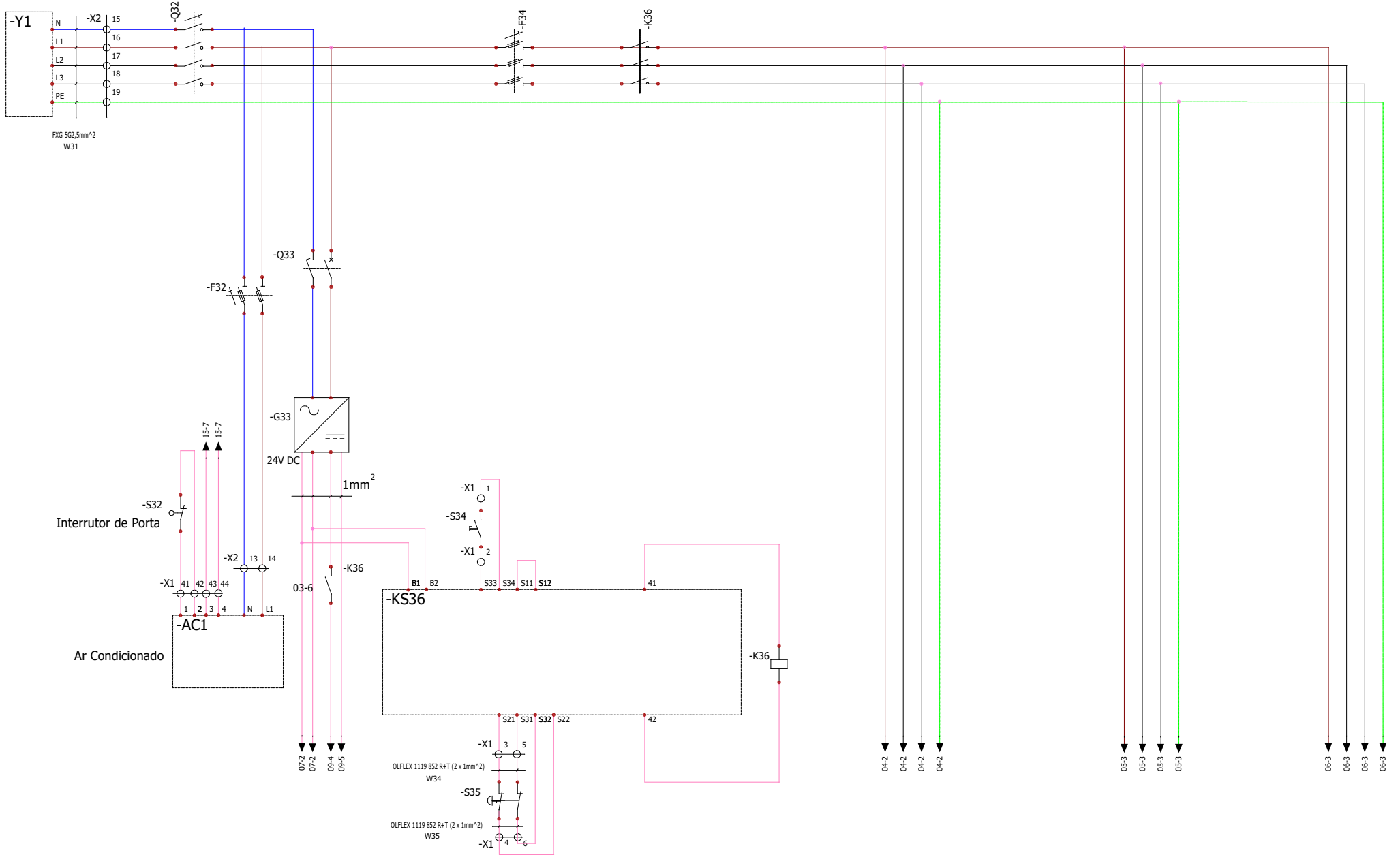


## **ANEXO B**

### **Esquema Elétrico do Sistema de Eliminação de Rugas**



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



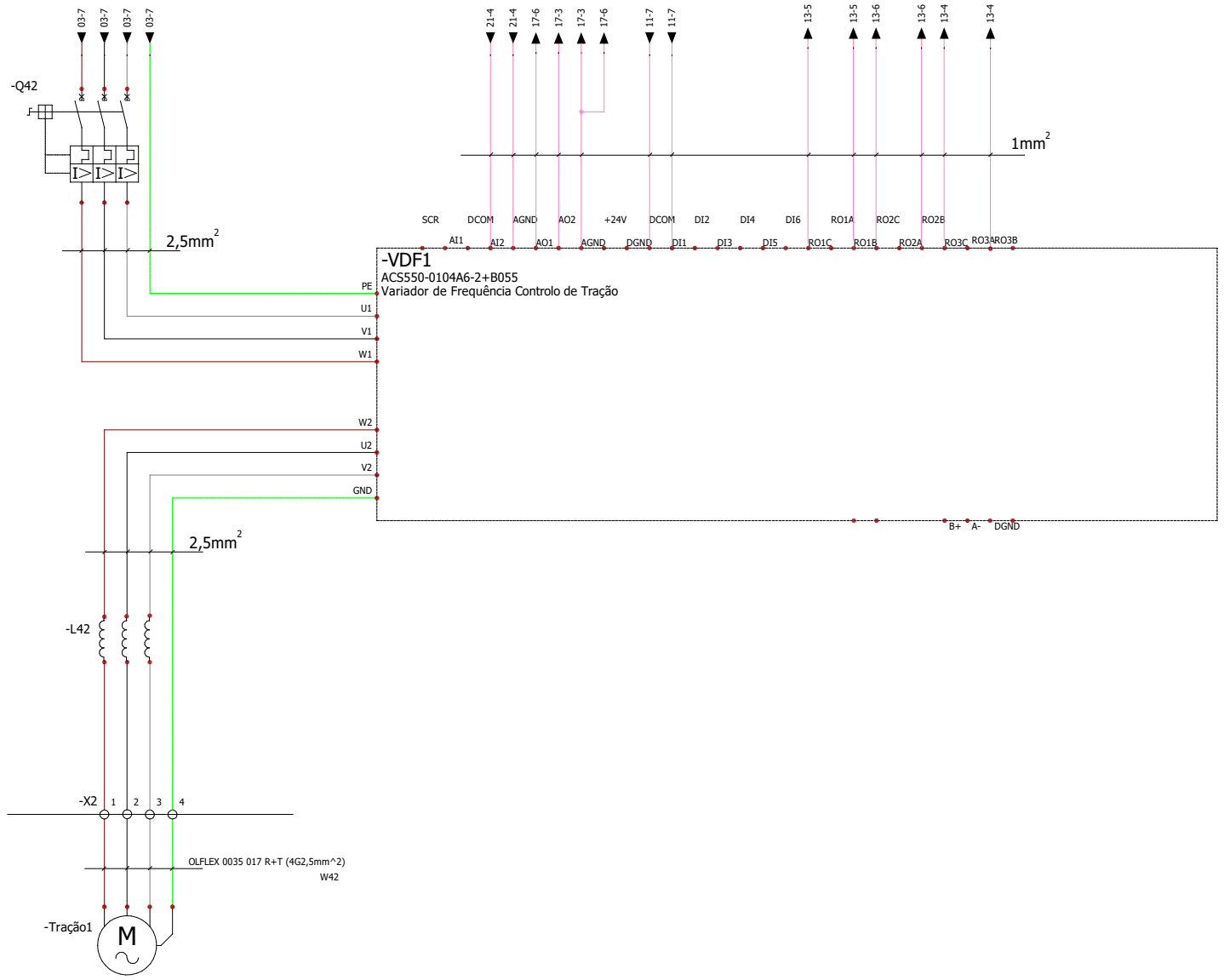
Continental - ITA

CONTRACT:

LOCATION: +P Location 1

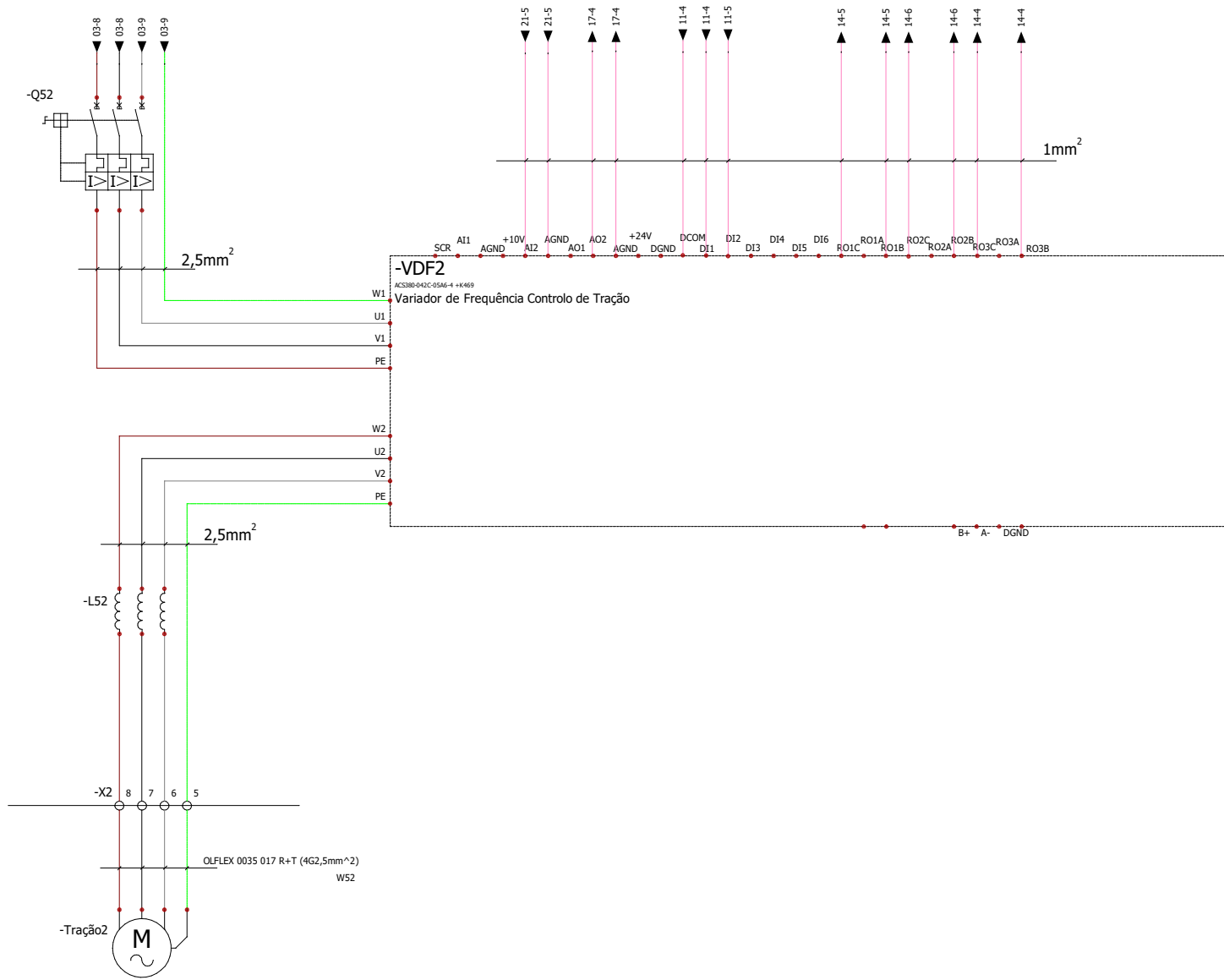
REV.	DATE	NAME	CHANGES
0	08/06/2017	fcunha	
User data 1			User data 2

REVISION  
0  
SCHEME  
03



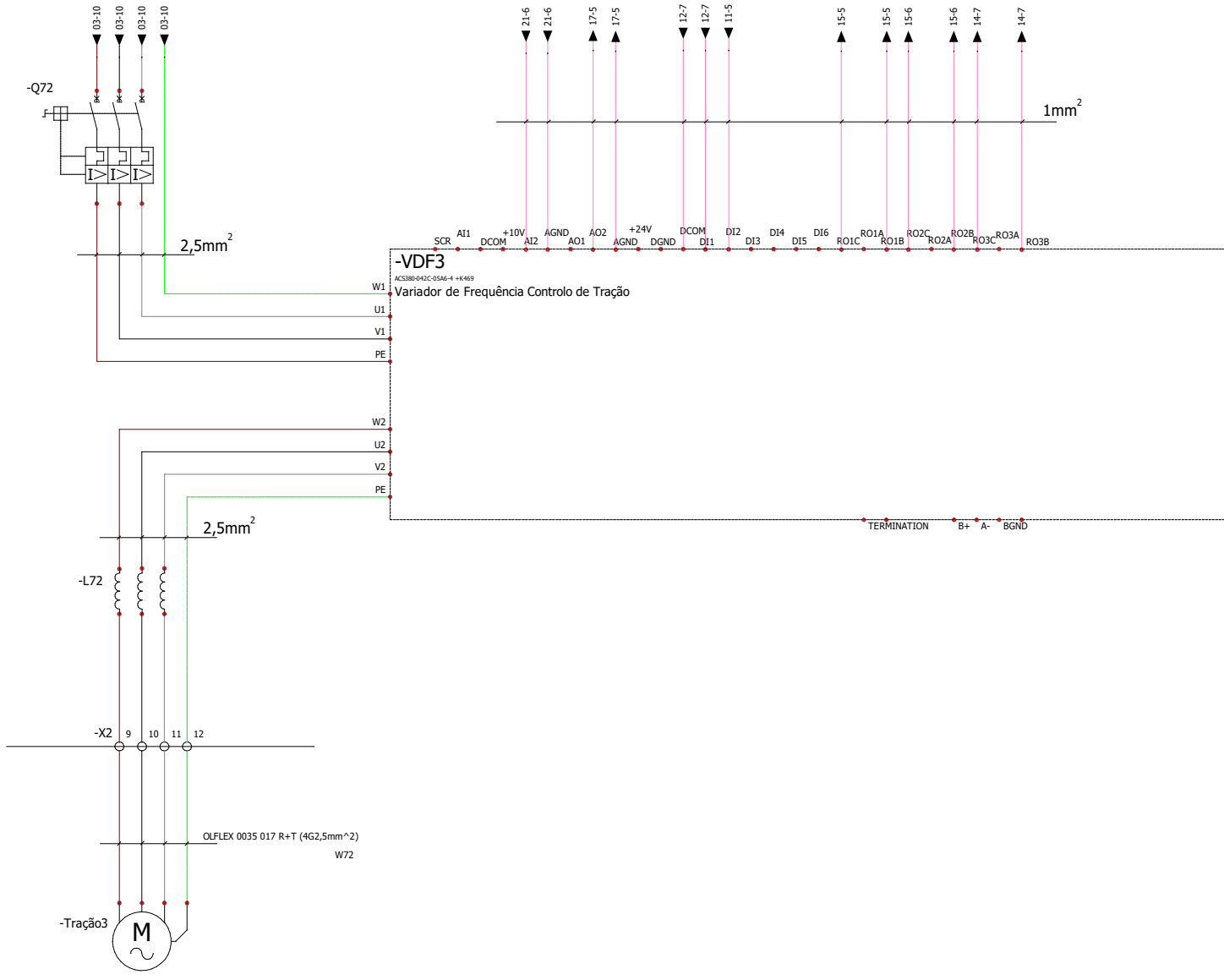
Continental - ITA

CONTRACT:	LOCATION: +P	Location 1		REVISION
				0
		REV.	DATE	NAME
		User data 1	User data 2	SCHEME
				04



Continental - ITA

CONTRACT:	LOCATION: +P	Location 1	REV.	DATE	NAME	CHANGES	REVISION
			0	18/04/2017	fcunha		0
			User data 1	User data 2		05	



Continental - ITA

CONTRACT:

LOCATION: +P Location 1

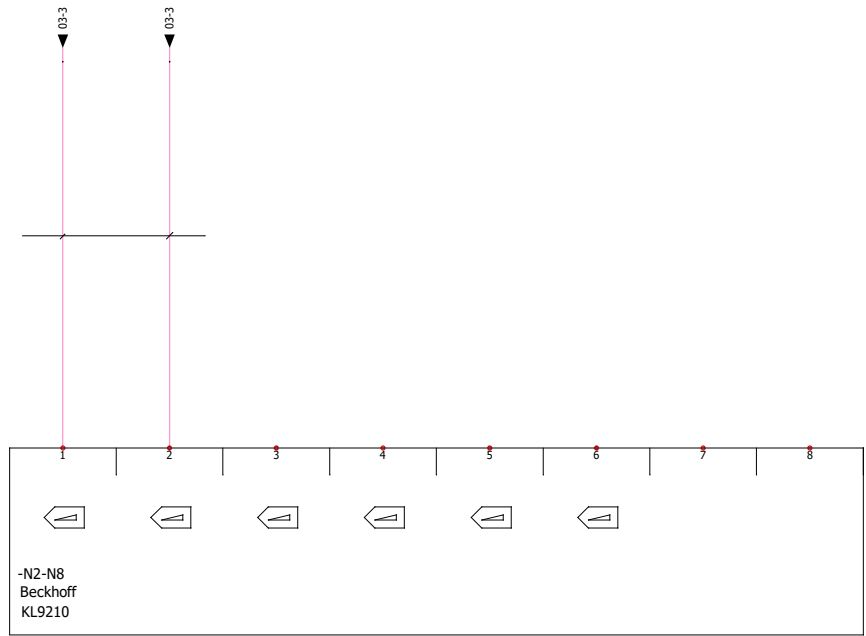
REV.	DATE	NAME	CHANGES
0	18/04/2017	fcunha	
User data 1			User data 2

REVISION  
0  
SCHEME  
06





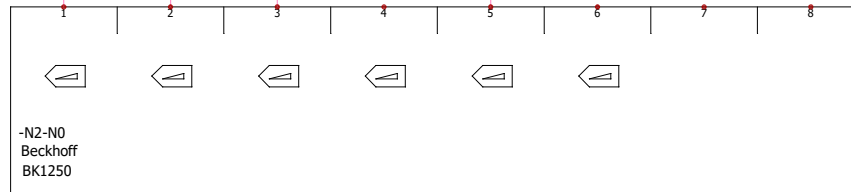




Continental - ITA

CONTRACT:	LOCATION: +P	Location 1				REVISION	
						0	
			0	08/06/2017	fcunha		SCHEME
			REV.	DATE	NAME	CHANGES	09
			User data 1			User data 2	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Continental - ITA

				REVISION
				0
0	08/06/2017	fcunha		
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
				10

CONTRACT:

LOCATION:

+P

Location 1

User data 1

User data 2

1

2

3

4

5

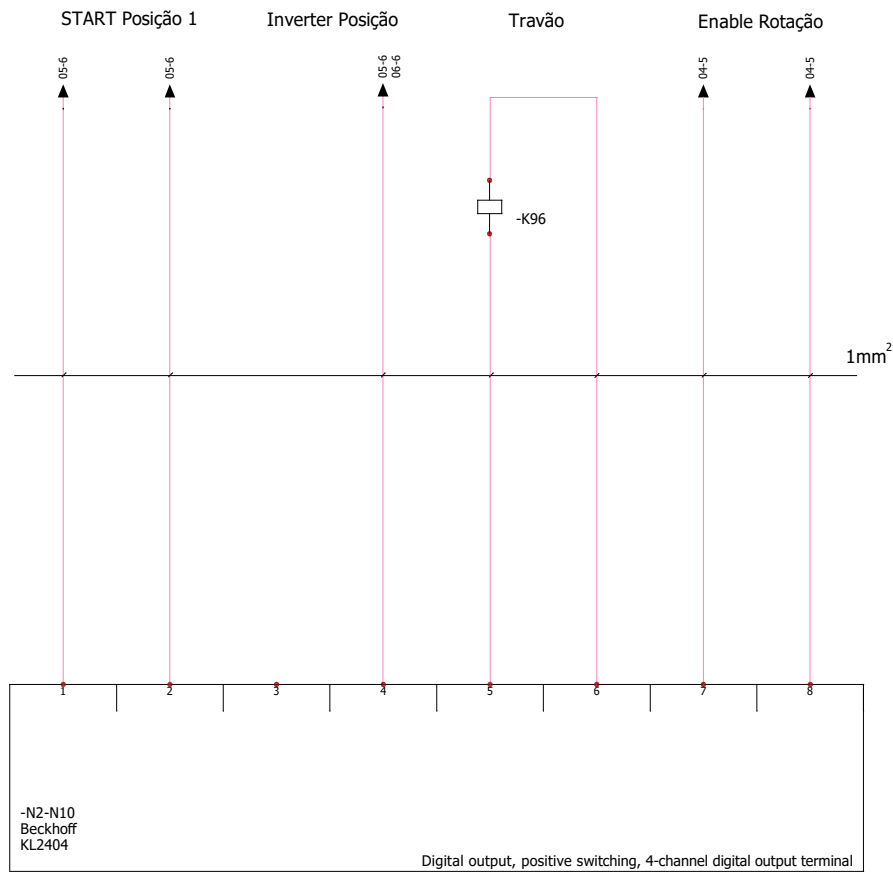
6

7

8

9

10



### Continental - ITA

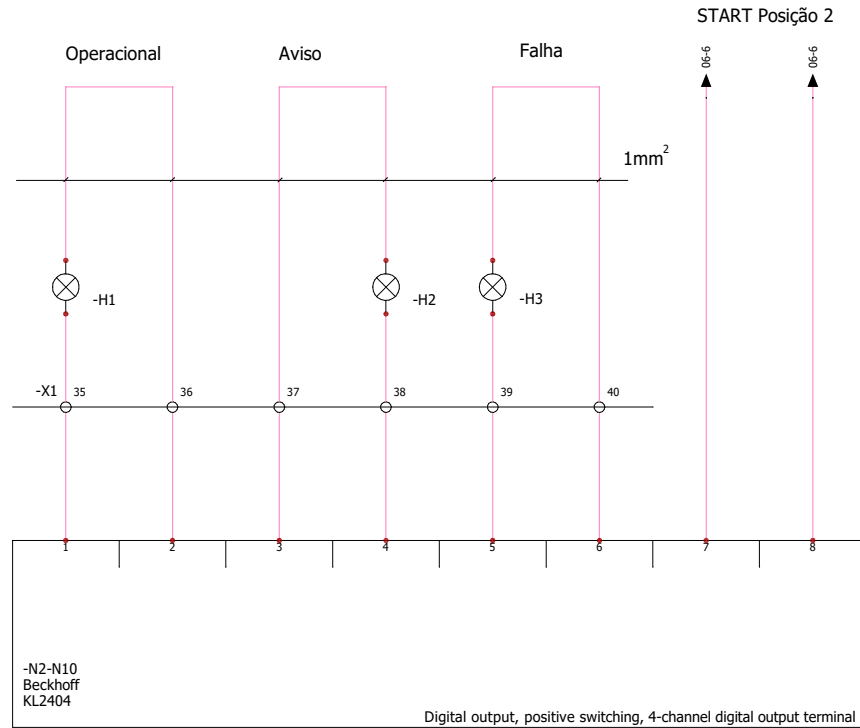
REVISION	0
SCHEME	11

REV.	DATE	NAME	CHANGES
0	21/02/2017	fcunha	
User data 1			User data 2

CONTRACT:

LOCATION: +P Location 1

SOLIDWORKS Electrical



Continental - ITA

CONTRACT:	LOCATION: +P	Location 1		REVISION
				0
		REV.	DATE	NAME
		User data 1	User data 2	SCHEME
				12

1

2

3

4

5

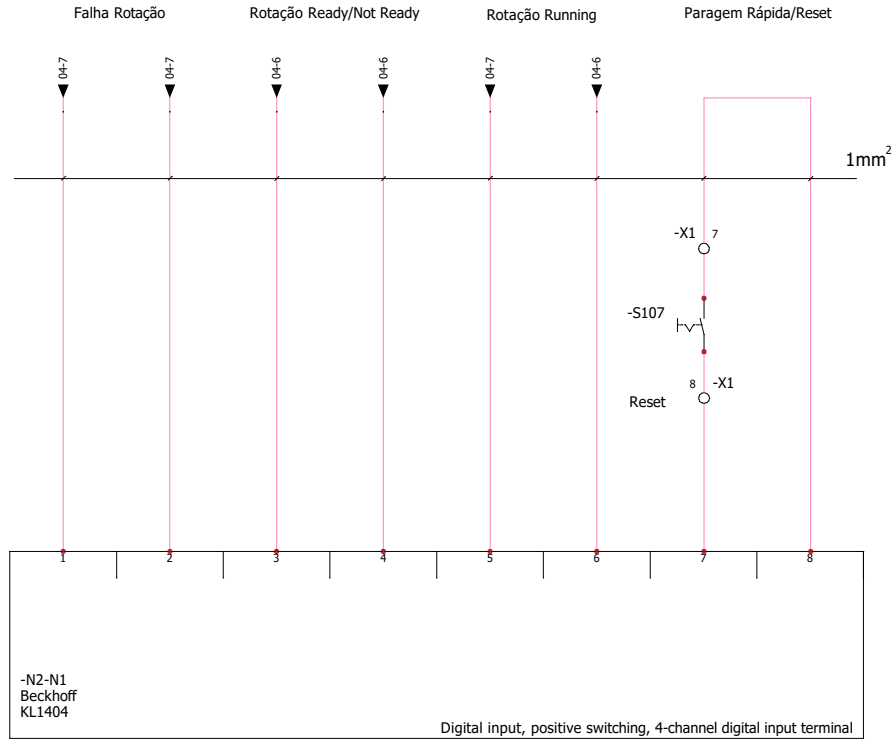
6

7

8

9

10



### Continental - ITA

				REVISION
				0
0	21/02/2017	fcunha		
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
User data 1			User data 2	13

CONTRACT:

LOCATION: +P

Location 1

1

2

3

4

5

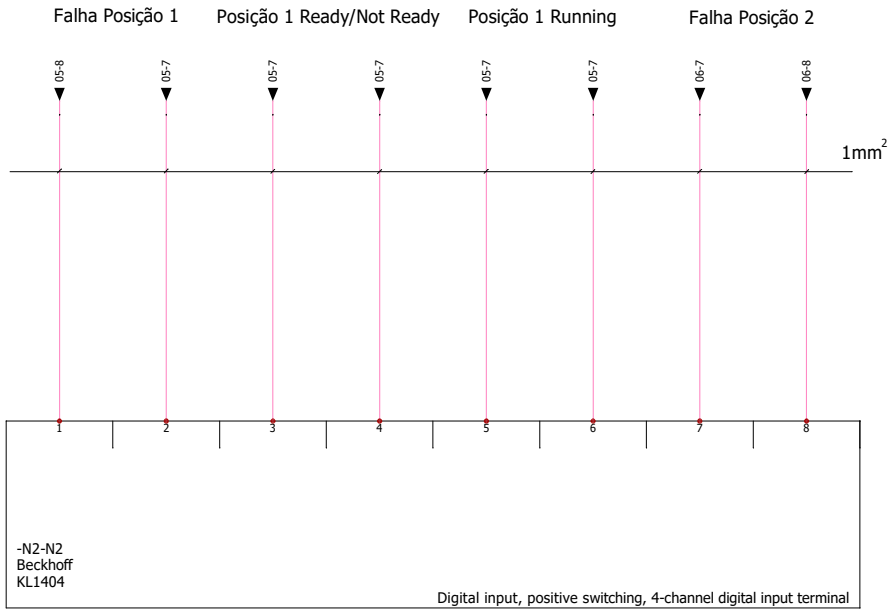
6

7

8

9

10



SOLIDWORKS Electrical

### Continental - ITA

CONTRACT:

LOCATION:

+P

Location 1

				REVISION
				0
0	15/02/2017	fcunha		
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
User data 1			User data 2	14

1

2

3

4

5

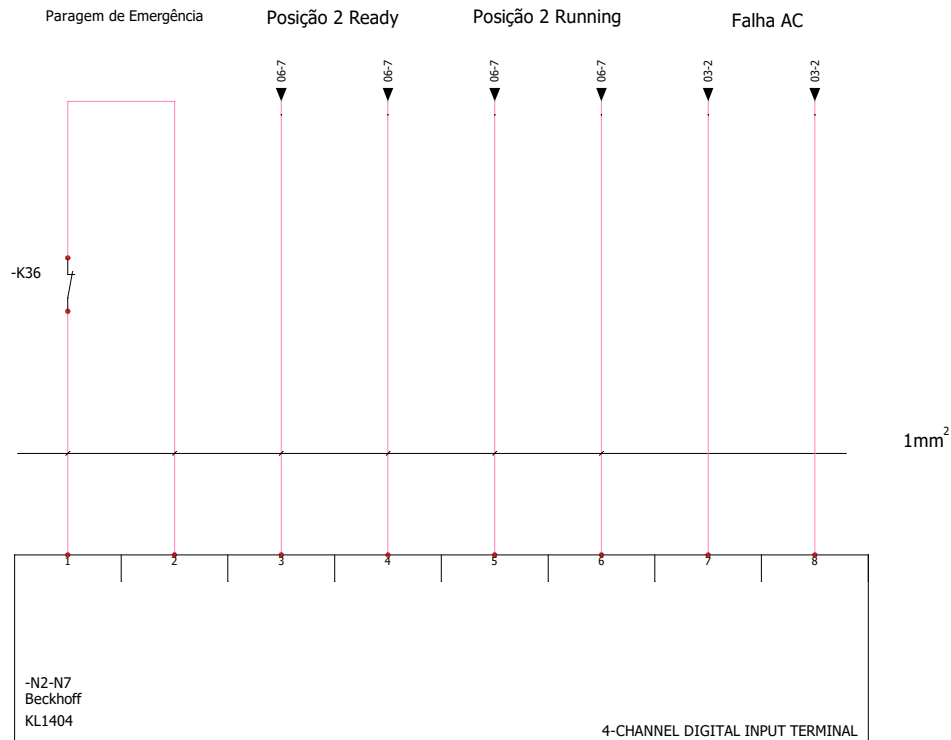
6

7

8

9

10



Continental - ITA

REVISION

0

REV.	DATE	NAME	CHANGES
0	24/02/2017	fcunha	

SCHEME

15

CONTRACT:

LOCATION:

+P

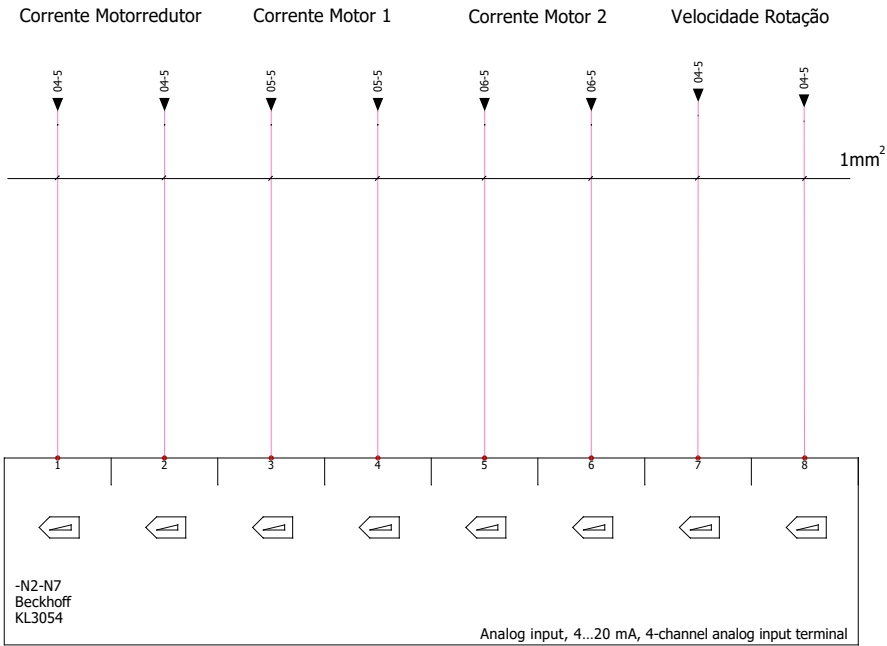
Location 1

User data 1

User data 2







SOLIDWORKS Electrical

CONTRACT:	LOCATION: +P	Continental - ITA			REVISION
					0
		REV.	DATE	NAME	CHANGES
				17	
User data 1				User data 2	

1

2

3

4

5

6

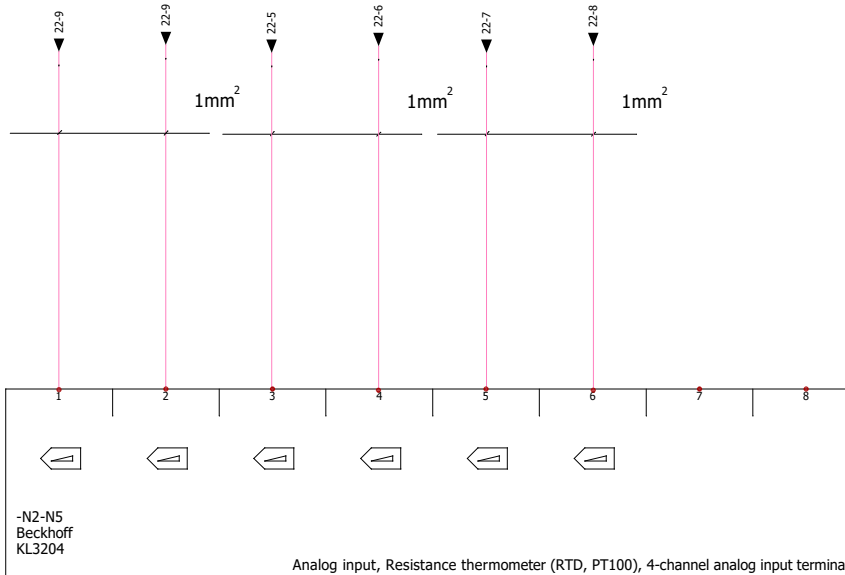
7

8

9

10

Temperatura Motorreductor    Temperatura Motor 1    Temperatura Motor 2



Continental - ITA

REVISION

0

SCHEME

18

0	23/05/2017	fcunha	
REV.	DATE	NAME	CHANGES
User data 1			User data 2

CONTRACT:

LOCATION:

+P

Location 1

1

2

3

4

5

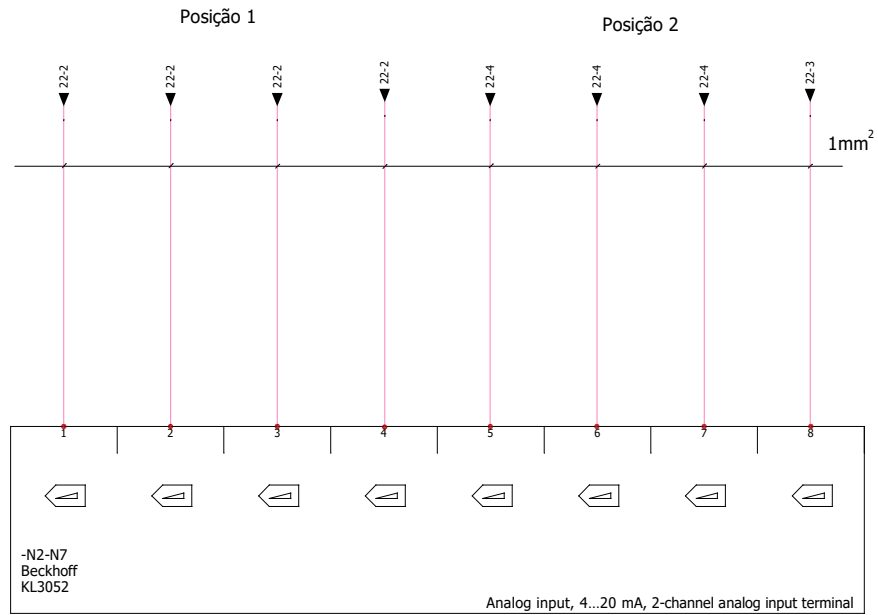
6

7

8

9

10



Continental - ITA

REVISION

0

REV.	DATE	NAME	CHANGES
0	26/04/2017	fcunha	

SCHEME

19

CONTRACT:

LOCATION:

+P

Location 1

User data 1

User data 2

1

2

3

4

5

6

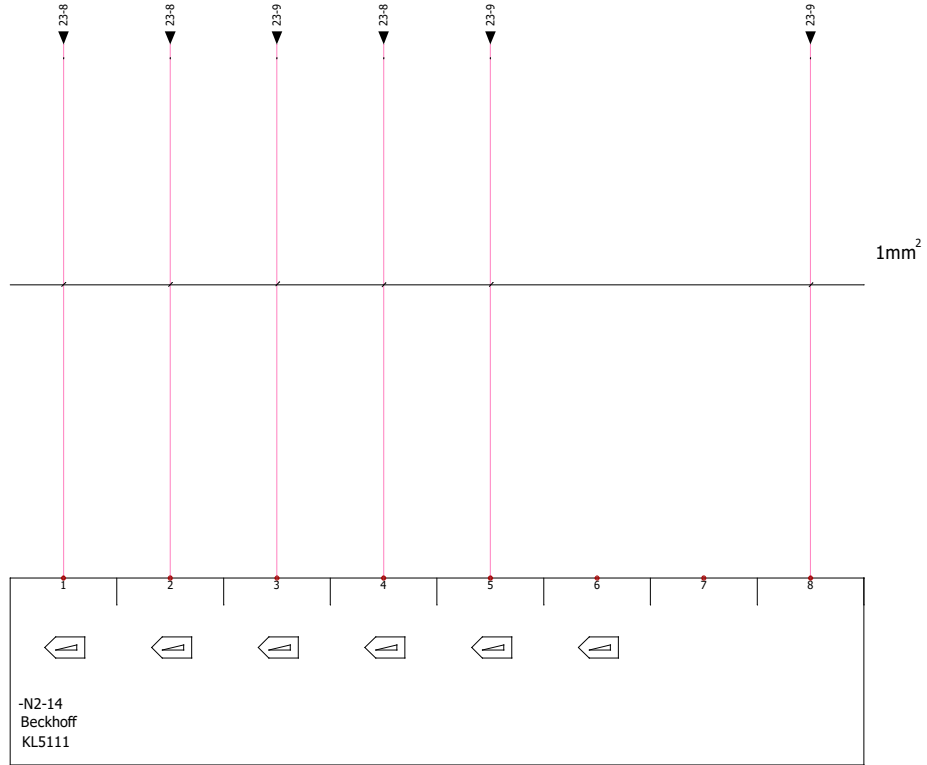
7

8

9

10

Velocidade Zell



1mm<sup>2</sup>

-N2-14  
Beckhoff  
KL5111

Continental - ITA

REVISION  
0

REV.	DATE	NAME	CHANGES
0	08/06/2017	fcunha	

SCHEME  
20

CONTRACT:

LOCATION:

+P

Location 1

User data 1

User data 2

1

2

3

4

5

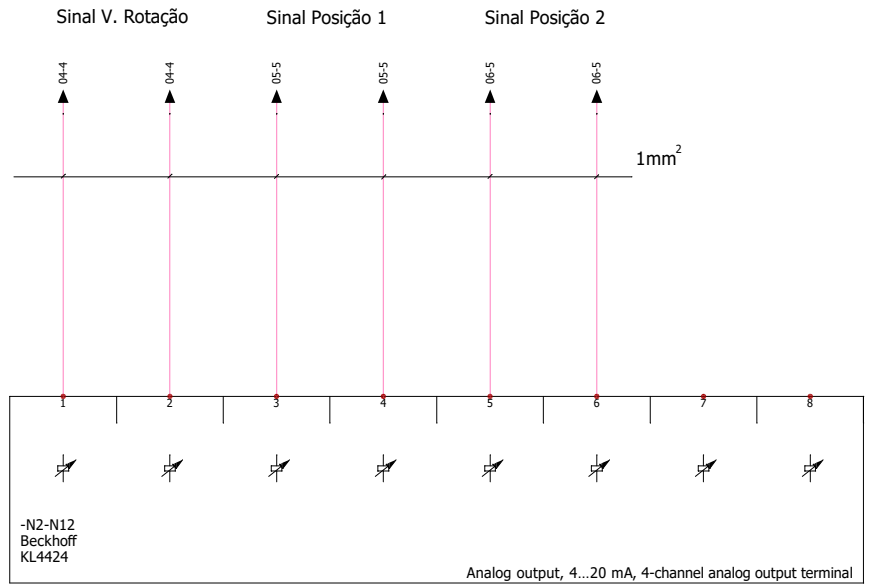
6

7

8

9

10



### Continental - ITA

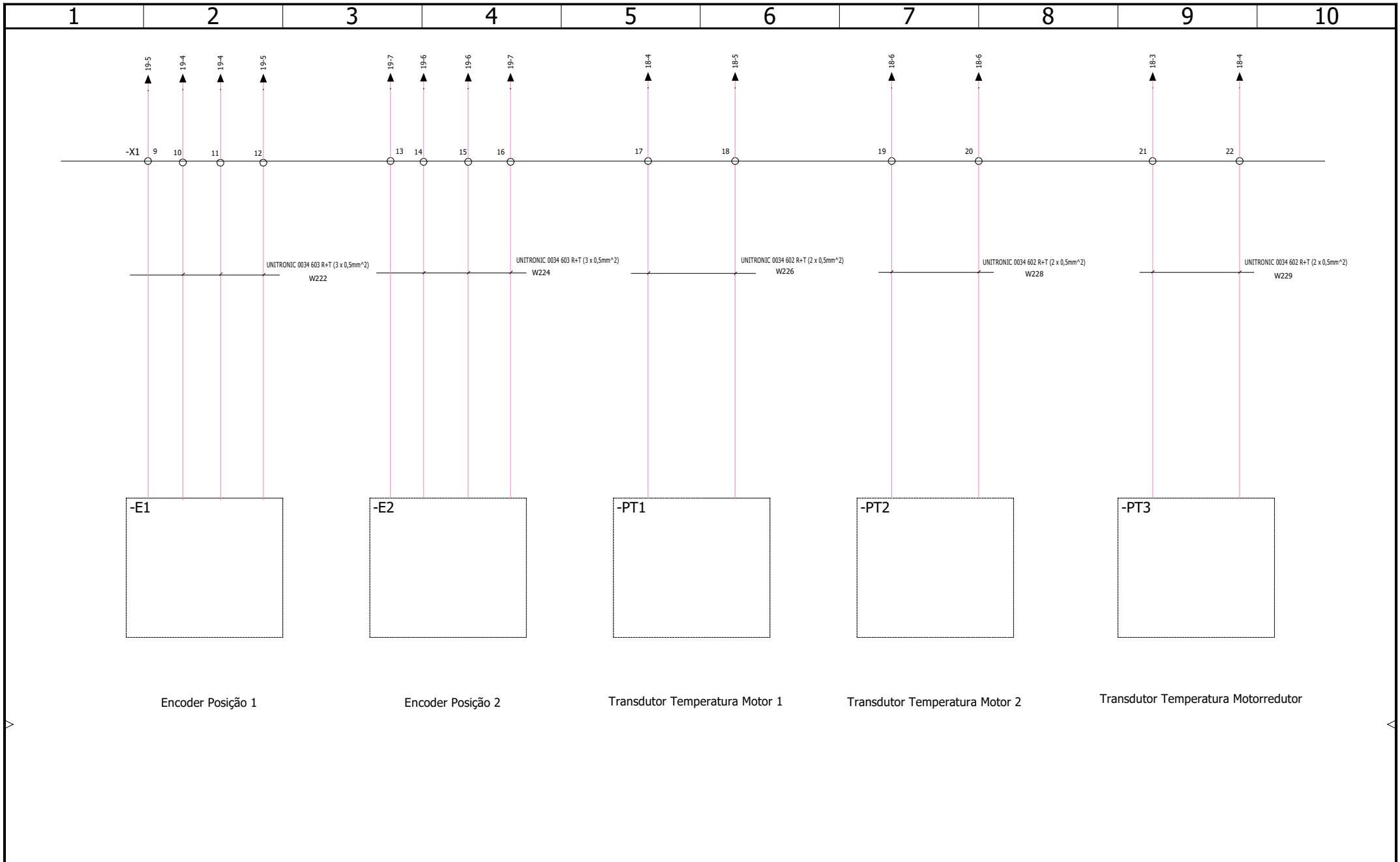
REVISION	0
SCHEME	21

0	23/02/2017	fcunha	
REV.	DATE	NAME	CHANGES
User data 1			User data 2

CONTRACT:

LOCATION: +P Location 1

SOLIDWORKS Electrical



Encoder Posição 1

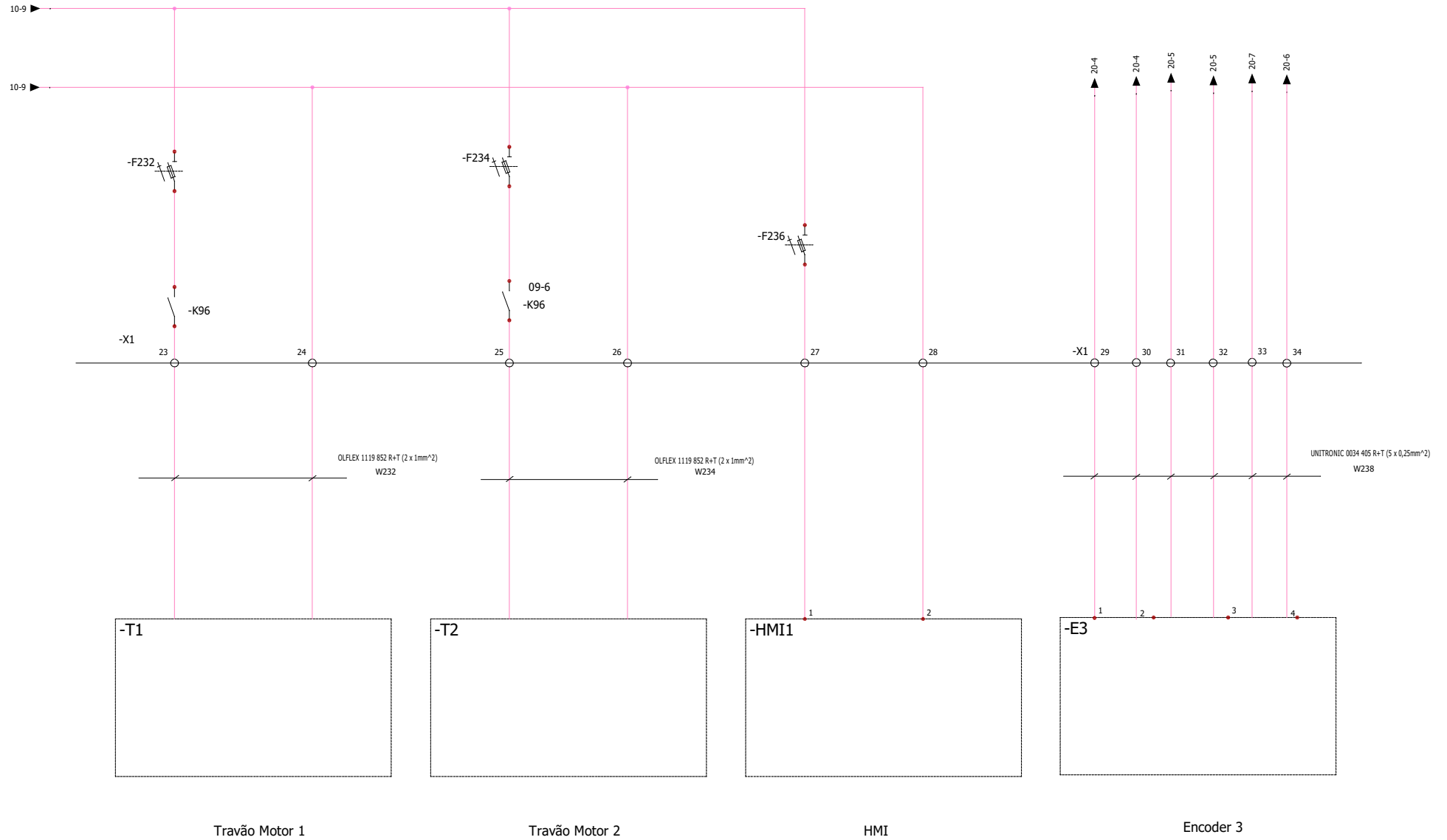
Encoder Posição 2

Transdutor Temperatura Motor 1

Transdutor Temperatura Motor 2

Transdutor Temperatura Motorreductor

		Continental - ITA			REVISION		
					0		
CONTRACT:		LOCATION: +P		Location 1		SCHEME	
				22			
		REV.	DATE	NAME	CHANGES		
		User data 1			User data 2		



Travão Motor 1                      Travão Motor 2                      HMI                      Encoder 3

Continental - ITA

CONTRACT:	LOCATION: +P	Location 1			REVISION
					0
		REV.	DATE	NAME	CHANGES
			User data 1	User data 2	SCHEME
					23