

CONTROLE E PARTIDA VIA SOFT-STARTER DE UM TRITURADOR DE BOBINAS DE PAPEL

JEFERSON FELIPE BATISTA¹
JHONATAS HENRIQUE ARAUJO REZENDE¹
PAULO EDUARDO SILVEIRA²

jeferson.felips@gmail.com | jhonatas.rezende@gmail.com

¹ Alunos do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco; Campus Swift.

² Professor Orientador, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco; Campus Swift.

Resumo:

Motores de indução trifásicos são muito utilizados na indústria por serem versáteis e apresentarem custo baixo de manutenção. Esses tipos de motores são encontrados em diversos segmentos da indústria, como embalagens, processamento de alimentos, mineração, transformação e construção. Um problema apresentado por esses motores é a corrente de partida muito maior que a corrente nominal de operação, necessitando de algum dispositivo de acionamento que reduza essa corrente de partida a um valor aceitável. Este artigo destaca o dimensionamento e a escolha de um *soft-starter* para suavizar a partida de uma trituradora de bobinas de papel, que utiliza um motor trifásico de 75 kW. A automação do processo de partida é realizada através de um CLP, que monitora diversos parâmetros e sensores, e garante a operação segura do equipamento. Foi projetado um painel elétrico específico para a aplicação que atende as normas elétricas e de segurança vigentes.

Palavras-chave: *Soft-starter*, motor de indução trifásico, automação.

1. Introdução:

A corrente elétrica em motores de indução trifásicos, pode ser várias vezes maior que a corrente nominal da máquina no momento da partida, normalmente indicado na placa do motor como I_p/I_n . Tal característica, torna necessário a implementação de recursos os quais diminuem a corrente elétrica do motor nesse momento, principalmente para motores de grande porte/potência. Os exemplos de controle da corrente de partida de motores elétricos de indução mais utilizados na indústria são as chaves compensadoras, chaves estrela-triângulo, *soft-starters* e inversores de frequência, sendo esses dois últimos, dispositivos eletrônicos de controle. Atualmente, a eletrônica de potência ganha destaque no acionamento de motores

elétricos, aliando a versatilidade desses dispositivos às necessidades da indústria em aproveitamento energético, confiabilidade e versatilidade na integração a projetos de automação, cabendo ao projetista analisar o custo benefício e real necessidade dessa implementação, uma vez que apesar de serem mais versáteis, são mais caros quando comparados a outros métodos de partida convencionais.

O projeto em questão está diretamente relacionado ao processo de partida de motores trifásicos de grande porte, onde o conjugado de partida é um dos fatores que mais influencia em picos de corrente elevados. Para isso, foi elaborado um projeto de automação para uma indústria multinacional produtora de rótulos autoadesivos, bulas e bisnagas plásticas. A empresa possui um triturador de bobinas de papel instalado em suas dependências. Essa máquina funciona através de um motor elétrico trifásico de 75 kW de potência, 440 Vrms a 122 A de corrente nominal. Foi observado a partir de medições realizadas em campo, que a corrente de partida dessa máquina era cerca de 5 vezes maior que sua corrente nominal, mesmo possuindo chave estrela-triângulo para partida, o que acarretava problemas ao longo da instalação elétrica do circuito, como quedas de tensão em outros equipamentos com alimentação proveniente do mesmo transformador. Além da implementação do *soft-starter*, toda a lógica de funcionamento do triturador de bobinas foi alvo de melhorias.

O projeto visa modificar o método de partida desse motor, utilizando um *soft-starter* modelo SSW07 da fabricante nacional WEG cujo dimensionamento será apresentado neste trabalho. O dispositivo opera com controle da tensão necessária para vencer a inércia da máquina, diminuindo os altos valores de corrente elétrica na partida e consequentemente atenuando a queda de tensão do circuito elétrico de alimentação do triturador de bobinas de papel. O circuito elétrico de potência e controle como cabos, disjuntores, painel, aterramento da máquina, foram revisados, a fim de atender os requisitos da NBR 5410.

Este trabalho tem como objetivo a modificação e melhoria de um Triturador de Bobinas de Papel para que este tenha um desempenho adequado às exigências da empresa. Este projeto ainda garantirá um funcionamento seguro para o equipamento e para os operadores, através de um algoritmo implementado no CLP e *soft-starter* corretamente parametrizados de acordo com as demandas do triturador de bobinas e observadas as boas práticas de acionamentos.

O projeto visa empregar a técnica de automação de máquinas e não se restringe simplesmente a escolha desses dispositivos, mas certifica-se da elaboração de um painel elétrico novo.

O artigo apresenta uma revisão bibliográfica dividida em uma breve introdução sobre automação, principais modos de acionamento de um motor trifásico e funcionamento de um CLP. A metodologia avaliará as possibilidades de acionamentos, de controle e definição das saídas e entradas do controlador. Na sequência serão apresentadas as especificações do CLP e do *soft-starter* que atenderão as necessidades desse projeto e então apresentar o algoritmo de controle em Resultados esperados no formato ladder.

2. Referencial Teórico:

2.1 Motor Elétrico

“O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica de utilização.” (MAMEDE, 2012, p. 202). Ao longo do desenvolvimento tecnológico e das inúmeras invenções realizadas pelo ser humano, podemos facilmente caracterizar o motor elétrico como uma das principais descobertas já realizadas. Trata-se de um equipamento de construção relativamente simples, que não gera poluentes, opera em diversas condições e está presente em todos os segmentos da indústria moderna. Conhecer seu princípio de funcionamento, aplicabilidade e características construtivas, contribui para a correta e eficaz aplicação dessa máquina.

O eixo de um motor elétrico só começa a girar quando o momento de inércia e o atrito seco a ser superado pela máquina, forem menor que seu conjugado de partida. Ao se planejar o controle de motores elétricos, os principais itens a serem considerados são a partida e parada, sentido de rotação, velocidade, limitação da corrente de partida, proteção mecânica e elétrica.

Tratando mais especificamente da limitação da corrente de partida de motores elétricos de indução trifásicos, durante a partida esses motores exigem da rede de alimentação uma corrente de valor elevado, da ordem de 5 a 10 vezes a sua corrente nominal. Assim os circuitos que haviam sido projetados para um determinado fornecimento de corrente, passam a operar com valores elevados, dada a exigência da carga na partida. Em virtude dessa elevada solicitação de corrente elétrica, o sistema fica submetido a quedas de tensão, que podem vir a interferir no correto e seguro funcionamento dos dispositivos de comando, proteção, outros circuitos e até do motor a ser acionado. A análise de um sistema de partida eficiente pode ser considerado uma das regras básicas para aumentar a vida útil dos motores, custos operacionais e de manutenção, além de identificar eventuais sobre e sub dimensionamentos de elementos de controle e proteção (SANTOS et al., 2006).

2.2 Tipos de Partida de um Motor Elétrico

A partida direta é o método mais simples e convencional de acionamento de motores de indução. São necessários apenas elementos básicos de controle, como disjuntores, contadores de potência e chaves de comando. Esse método se aplica a motores de pequeno porte e baixa potência, além de não oferecer controle no arranque, portanto não se aplica a cargas que necessitam de acionamento lento e progressivo.

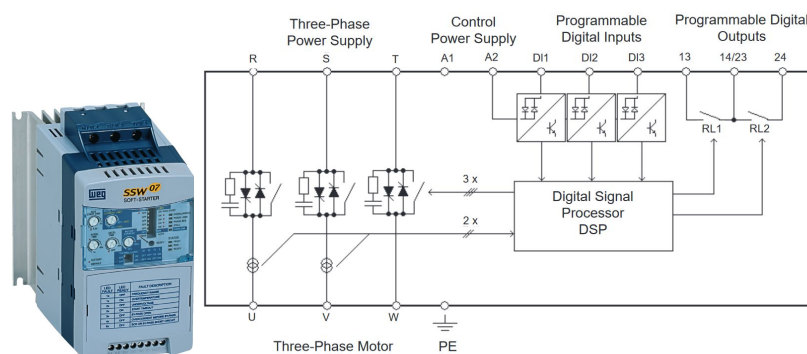
A Partida com chave estrela-triângulo é comumente utilizada para suavizar os efeitos da partida de motores elétricos. Largamente utilizadas em indústrias, em acionamento de bombas hidráulicas e motores de médio porte, onde a progressão e acionamento lento das cargas não são necessários. De construção simples, sendo apenas necessários o uso de contadores de potência, disjuntores e outros elementos de comando como botões e temporizadores. É importante observar que para utilização desse método de partida, é necessário que o motor elétrico possua seis terminais acessíveis, condizente com duas faixas de tensão de operação, a exemplo de 220V/380V, 380V/660V.

Inicialmente o motor deve ser acionado na configuração estrela, até que este alcance uma velocidade de cerca de 90% do valor nominal e então a ligação em delta é ativada (MAMEDE, 2012). Quando a comutação entre os estágios de ligação da máquina é realizado, existe elevação da corrente elétrica. Esse fato é de suma importância para o correto dimensionamento do instante de tempo dessa comutação, uma vez que se ocorrer antecipadamente, a elevação da corrente ocorrerá durante um intervalo de tempo consideravelmente maior. Durante a partida que ocorre em ligação estrela, o conjugado e a corrente de partida ficam reduzidos a 1/3 do valor nominal. Portanto, essa deve ser uma das características a serem analisadas, uma vez que a carga no eixo do motor deve ser menor que esse valor, possibilitando a partida do motor.

A chave compensadora é um autotransformador com diferentes conexões destinadas a regular o processo de partida de motores, dividindo a tensão nominal da rede a percentuais pré definidos por suas características de construção. Normalmente utilizados em motores de potência elevada, no acionamento de cargas com elevado conjugado de partida e alto índice de atrito. Possui como vantagens as variações gradativas dos taps do autotransformador, usadas para aplicar a chave adequadamente em relação ao sistema de suprimento. Durante a comutação da tensão mais baixa até a nominal da rede, não acarreta elevação da corrente, uma vez que nesses instantes o autotransformador se comporta como uma grande reatância indutiva, impedindo/retardando o crescimento da corrente e suas desvantagens dizem respeito ao elevado custo de implementação quando comparada a chaves estrela-triângulo além de dimensional físico elevado.

Os *soft-starters* são dispositivos eletrônicos microprocessados, que através de tiristores em ponte na configuração antiparalelo realizam o ajuste progressivo da tensão aplicada ao motor de acordo com a corrente máxima desejada (FRANCHI, 2008). Apresentam capacidade de controlar corrente e, conseqüentemente, o torque de partida dessas máquinas, levando em consideração as características operacionais do motor e da carga a ser acionada. Amplamente utilizados na indústria para partida, controle e proteção de motores elétricos de indução trifásicos, são também conhecidos como chaves estáticas de partida. É mostrado na Figura 1 um modelo de *soft-starter* com controle nas três fases, da fabricante WEG, além de seu respectivo diagrama esquemático.

Figura 1 - *Soft-starter* WEG modelo SSW07171A e respectivo modelo esquemático.



(Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h8f/h39/WEG-SSW07-user-manual-0899.5832-en-es-pt.pdf>)

As principais vantagens deste dispositivo são a capacidade de acionamento em rampa de tensão nos terminais de saída do dispositivo aplicando uma tensão alternada de valor

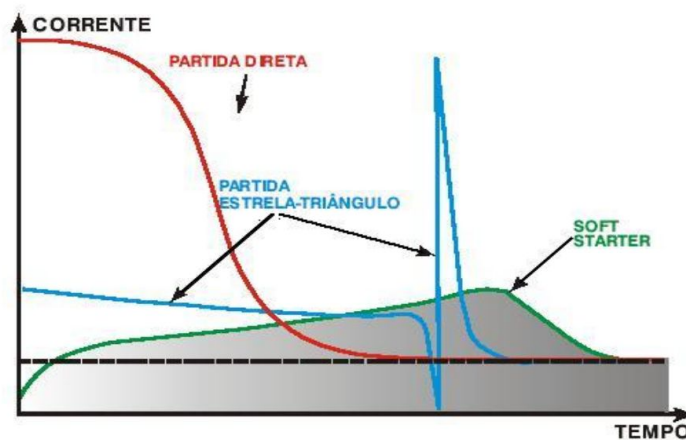
crescente progressivo, de acordo com os ajustes realizados previamente. Com isso a aceleração do motor ocorre de maneira suave e contínua até que seja atingido o valor nominal da tensão de operação.

A desaceleração em rampa de tensão ocorre similarmente ao acionamento e o desligamento da carga pode ocorrer de maneira suave e gradativa. É de grande utilidade em esteiras transportadoras de produtos sensíveis e bombas centrífugas, onde o desligamento e/ou ligamento direto pode produzir os chamados golpes de ariete, podendo acarretar em quebra de tubulações ou danos a bomba.

A proteção do motor é feita garantida pelo *soft-starter* que possui circuitos de proteções, a fim de zelar pela integridade da máquina. Os mais comuns são: rotor bloqueado, que age quando o rotor for travado no momento de partida ou ainda quando tempo de partida programado for excedido, um relé interrompe a alimentação do motor. Sequência de fase, que protege para que o motor não opere em rotação contrária. Final de rampa ascendente, que opera de modo a garantir que os tiristores não sejam mais utilizados quando a tensão nominal do motor for atingida, conectando relés em paralelo, para que esses operem conectados ao motor. Na Figura 1 é possível observar que esses relés em paralelo com os tiristores já fazem parte da construção do driver em questão. Existem outros modelos de chaves estáticas que não possuem tais relés incorporados, porém disponibilizam um sinal para o acionamento desses dispositivos. Além disso, o *soft-starter* permite limitar o valor de corrente elétrica na partida a um valor pré-configurado durante um intervalo de tempo ao qual seja necessário para que motor rompa seu conjugado de inércia ou atrito seco e entre em regime de operação, ou seja em rotação nominal.

Observa-se na Figura 2 uma análise gráfica em função do tempo, do comportamento da corrente elétrica em diferentes métodos de partida de motores de indução, sendo eles: partida direta, partida estrela/triângulo e partida com *soft-starter*.

Figura 2 - Gráfico comparativo entre métodos de partida de motores de indução.



(Fonte: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/softstarter.pdf>)

Além dos *soft-starters*, também são utilizados inversores de frequência como dispositivos eletrônicos para o acionamento de motores de indução, porém são mais caros.

2.3 Automação

A automação pode ser definida segundo sua característica laboral que foca em um sistema adequadamente descrito e conhecido agindo de modo previamente definido (AGUIRRE e col, 2007) e suas origens podem ser datadas desde a Revolução Industrial e James Watt com seu regulador Watt e um sistema de *feedback* que permitiu o controle automático da velocidade média do motor (SOTOMAYOR, 2007). A automação industrial em si, como um subgrupo da automação, pode ser classificada enquanto rígida, flexível ou programável (CAPELLI, 2013), ou seja, pode atuar sem grandes possibilidades de configuração e modificação ou podem ser alteradas para se adequar a planta de operação.

2.4 Controlador Lógico Programável

No contexto de automação industrial, um dos componentes que mais se utiliza é o CLP, sendo responsável por unificar e simplificar muitos sistemas de controle, que antes valiam-se de diversos elementos de comando, que tornavam os projeto mais complexos e mais caros. Anteriormente, os Controladores Lógicos Programáveis eram apenas utilizados como uma substituição a relés lógicos, porém hoje são utilizados para realizar cálculos, temporização e monitoramento remoto.

Os CLPs em geral podem ser divididos em três partes: entrada, saída e memória. As entradas e saídas podem ser digitais (zero ou um) ou analógicas (0V a 10V e 4mA a 20mA), podendo ser a relés ou transistores, sendo que estes podem possuir isolamento galvânica, garantindo uma camada adicional de proteção ao projeto. No que diz respeito à memória, podem ser de programa – contendo a rotina de execução do CLP – e de dados, responsáveis por fazer troca de informações entre E/S (normalmente tendo sua posição na memória grafada no painel), contadores e temporizadores e a CPU.

A IEC 61131 explicita cinco linguagens de programação:

- Texto Estruturado (textual)
- Lista Instruções (textual)
- Diagrama de Bloco Funcional (simbólica)
- Ladder (simbólica)
- Diagrama de Fluxo (simbólica)

Neste projeto será usada a linguagem simbólica ladder, gerada através do software *Logo Comfort* e é mostrado na Figura 3 o controlador lógico programável Siemens LOGO! 8.

Figura 3 - Siemens LOGO! 8 Básico com display

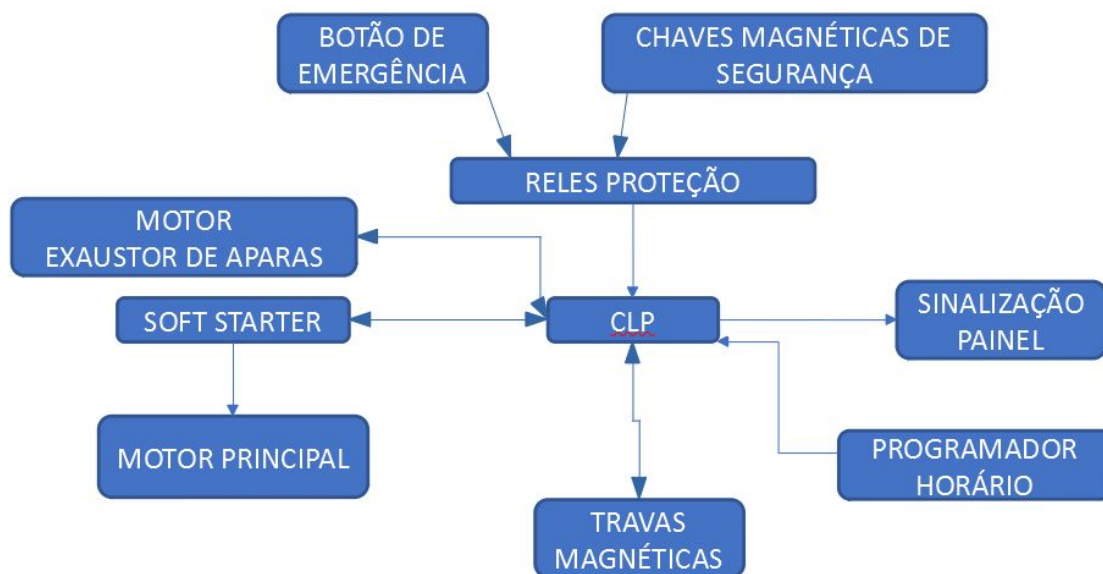


(Fonte: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-basic-modules.html>)

3. Metodologia:

O desenvolvimento e a idealização do projeto partiram do princípio da automação e segurança de máquinas e mais especificamente do melhor método de partida de um motor elétrico de indução trifásico de 75 kW, de acordo com as características de controle e operação da máquina em que é utilizado. A Figura 4 apresenta um diagrama de funcionamento simplificado, mostrando as principais relações entre as partes do projeto.

Figura 4 - Diagrama em bloco do projeto



(Fonte: Próprio Autor)

Figura 5 - Dados de Placa do Motor do Triturador de Papel



(Fonte: próprio autor)

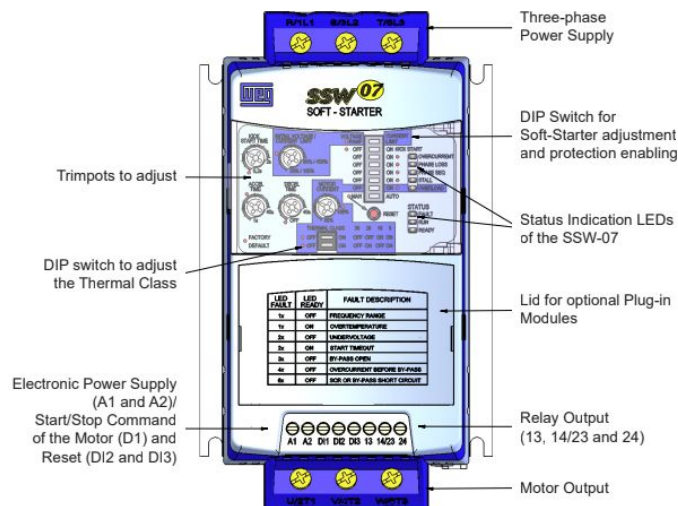
A partir dos dados de placa apresentados na Figura 5, assim como a experiência de uso da máquina foi observado uma corrente nominal de 122A e sobrecorrente de aproximadamente 600A durante a partida, causando queda de tensão na rede de alimentação trifásica 440Vca. Para suavizar a partida do motor e levando em consideração que não há necessidade de reversão, posicionamento ou controle de velocidade, o *soft-starter* é o melhor dispositivo para acionamento e proteção do motor.

Diante de prévia comparação entre as fabricantes WEG, SCHNEIDER e SIEMENS, o *soft-starter* WEG SSW070177T5SZ é o modelo de chave estática escolhido por questões de custo benefício, assistência técnica local e por possuir controle nas três fases.

Foram realizados testes manuais de rotação do conjunto motor-rotor de facas para verificar se o conjugado de partida é elevado, sendo constatado que era possível rotacionar este sem necessidade de aplicar torque excessivo constatando-se que o *soft-starter* é adequado.

É apresentado na Figura 6 o painel frontal do SSW070171T5SZ e suas respectivas conexões.

Figura 6 - Painel frontal do SSW07



(Fonte: Manual do Usuário do SSW07)

Para efetivar proteção do conjunto driver/motor, será utilizado um disjuntor de caixa moldada (MCCB - *Molded Case Circuit Breaker*). A utilização do MCCB é necessária dada a amplitude da corrente nominal da carga, que excede os valores comerciais de disjuntores miniatura, além de sua aplicação como agente de ligação/desligamento do circuito e capacidade de condução de corrente de curto-circuito compatível com o *soft-starter*. De maneira análoga, o dispositivo terá a função de proteger driver e motor de sobrecargas e eventuais falhas de curto circuito.

O disjuntor escolhido foi o da fabricante Siemens modelo 3VT2725-2AA36-0AA0 aliado ao disparador 3VT9225-6AC00, em conformidade com a norma NBR IEC 60947-2, que requer um dispositivo de manobra e comando de baixa tensão. A utilização desse modelo de disjuntor atende aos requisitos de coordenação do tipo 1, que protegerão a instalação contra curto-circuito e não oferecerão riscos às pessoas. O referido disjuntor possui capacidade de interrupção de correntes de curto circuito superior a estipulada pelo fabricante do *soft-starter*, o que colabora com a conformidade de sua utilização. Com capacidade de ajuste de disparo de sobrecorrente a uma faixa de 100 a 250 A, o disparador de sobrecorrente incorporado ao disjuntor fornecerá a possibilidade de se ajustar o ponto ideal de proteção contra sobrecarga e curto-circuito no equipamento.

Figura 7 - Disparador 3VT9225-6AC00 com proteção de sobrecorrente



(Fonte: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/se/Catalog/Product/3VT9225-6AC00>)

Anteriormente ao disjuntor, no diagrama elétrico (como apresentado nas Figura 11, Figura 12 e Figura 13), foi adicionada uma chave geral que tem a função de seccionar a alimentação elétrica do painel, possibilitando intervenções de caráter preventivas e corretivas na máquina e no painel elétrico. A chave seccionadora escolhida foi o modelo Ergon 200 da fabricante Siemens. O modelo possibilita o desligamento da máquina em carga, além de oferecer capacidade de condução de corrente de curto circuito acima do estipulado pelo fabricante do driver.

Para proteção do motor de exaustão do material triturado, será utilizado um disjuntor motor também da fabricante Siemens, modelo 3RV2021-4CA10 que compreende a faixa de ajuste de corrente da carga compatível com o motor do exaustor. Para partida e parada do

motor de exaustão será utilizado o contator de potência Siemens 3RT2026-1BB40 (conforme mostrado na Figura 8), sendo esse dimensionado para atender a carga a ser acionada.

Figura 8 - Contator 3RT2026-1BB40



(Fonte: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/se/Catalog/Product/3RT2026-1BB40>)

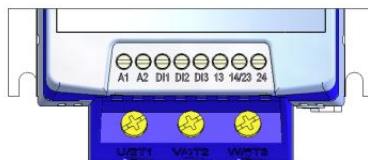
O circuito elétrico de comando da máquina deverá compreender duas faixas de tensão. A seção de comando do *soft-starter* WEG SSW07, opera a faixa de tensão de 110 a 240 Vca, bem como as entradas digitais de interface DI1, DI2 e DI3 (Figura 13). Um relé de comando, identificado no diagrama elétrico como K2 (Figura 13), será responsável por fazer a conexão do sinal de saída do driver, quando a rotação nominal do motor for atingida. Esse relé de interface terá sua bobina energizada em 220 Vca.

É apresentado as especificações de conexão do *soft-starter* na Figura 9.

Figura 9 - Descrição das entradas de conexão

Terminal	Description	Specifications	Torque Nm (in lb)
A1	Electronics Supply	Voltage: 110 to 240 Vac (-15 % to +10 %) (models from 17 A to 200 A)	0.5 (4.5)
A2		110 to 130 Vac or 208 to 240 Vac (-15 % to 10 %) (models from 255 A to 412 A).	
	Grounding	Only for the 255 to 412 A models	
Terminal	Factory Default	Specifications	
DI1	Starts/Stops Motor	3 isolated digital inputs	
DI2	Fault reset	Voltage: 110 to 240 Vac (-15 % to +10 %)	
DI3	Fault reset	Current: 2 mA Max.	
13	Relay 1 output - Operation	Contact capacity:	
14/23	Relay common point	Voltage: 250 Vac	
24	Relay 2 output - Full voltage	Current: 1 A	

Table 3.9 - Description of the control connector pins



(Fonte: Manual do Usuário do SSW07)

Além desse relé uma fonte de alimentação 24 Vca será energizada por tensão alternada em 220 V. A partir dessas informações, um transformador isolador será necessário

para reduzir o potencial elétrico de alimentação da máquina de 440 Vca para 220 Vca. O contator de comando K2 (na Figura 13 que apresenta o esquema elétrico), assim como os demais relés de comando presentes no projeto são da marca Finder. Os valores de corrente necessária na bobina estão na faixa de 20 mA, assim não interferem significativamente no dimensionamento do transformador. A fonte de alimentação escolhida corresponde ao modelo PSS24-W-5 da WEG e fornecerá a segunda faixa de tensão de comando utilizada no projeto, sendo essa de 24V. Consultando a folha de dados do dispositivo, a corrente de entrada dessa fonte de alimentação corresponde a 1A. Portanto, um transformador isolador comercial de 500VA de potência atenderá os elementos do projeto alimentados em 220 Vca. Serão utilizados os modelos de minidisjuntores 5SL1-202-7MB da Siemens para proteção das bobinas primária e secundária do transformador.

Como o transformador escolhido tem potência nominal de 500VA, conclui-se que no enrolamento primário pode-se circular uma corrente elétrica de no máximo 1,13A e no enrolamento secundário 2,27 A. Dessa forma, o enrolamento primário estará protegido apenas contra curto circuito. Já o enrolamento secundário estará protegido contra curto-circuito e sobrecarga. A opção por se utilizar o mesmo disjuntor na alimentação primária e secundária do transformador se dá pela razão deste ser um valor nominal comercial utilizado por diversos fabricantes de minidisjuntores com classe de disparo de corrente de curto circuito até 3 kA. Para a escolha do disjuntor foi utilizado um catálogo da Siemens.

O circuito elétrico de acionamento e comando foi elaborado de modo a permitir paradas de emergência e operar até 25Vca ou 60Vcc de acordo com as exigências da NR 12 (NORMA REGULAMENTADORA, 12.36.1, 2015). Para proteção contra curto circuito e sobrecorrente na saída da fonte de alimentação 24 Vcc, será empregado o uso de um fusível de vidro de 5A, montado em base porta fusível com LED de indicação de funcionamento.

Os elementos alimentados em corrente contínua pela fonte de 24V no projeto, compreendem:

- Ventilador axial Rittal, modelo SK 3241124. Este consome 19 W @ 0,8A de potência.
- 2 Relés de segurança WEG, modelo CPA-D, cuja potência em uso fornecida pelo fabricante é menor que 10VA, justificando uma corrente de cerca de 20 mA para cada elemento, ou 80 mA para ambos.
- 4 relés de comando Finder, cuja corrente de operação máxima é de 21 mA cada. Os 4 relés somados geram um consumo de 84 mA.
- Controlador Lógico Programável Siemens Logo! 8 24V, consultando seu manual obtém-se o consumo do equipamento quando desligado e alimentado em corrente contínua, 10 a 65 mA.
- Programador horário Clip, modelo CLB-40 (24 Vcc), conforme manual do produto, potência menor que 1 VA, assim a corrente de consumo será de aproximadamente 42 mA.
- 3 blocos de iluminação com LED, fabricante WEG modelo CSW - BIDL - 3E26, em conjunto com sinaleiros difusos WEG modelo CSW – SD. Os valores de potência dissipada ou consumo de corrente elétrica não são informados pelo fabricante. Serão

desconsiderados na somatória dos valores de consumo dos demais itens alimentados em 24 Vcc, dado a valores mínimos de consumo desse tipo de lâmpadas de indicação.

Os valores de consumo de corrente elétrica dos dispositivos citados anteriormente totalizam 1,83A. A escolha de uma fonte de alimentação com capacidade de fornecer 5 A de corrente de saída garante fornecimento suficiente para partida de elementos de indução como bobinas de relés e enrolamentos de motores, como os do ventilador do painel.

A partir do anexo IV e dos item 12.24 e 12.25 da NR-12, que define elementos de controle e considerações sobre comandos de partida, foi decidido a utilização de extra baixa tensão para alimentação dos elementos de segurança e comandos lógicos do equipamento.

O triturador de bobinas possui elementos de proteção físicas que precisam ser monitorados. Deverão ser instaladas chaves de monitoramento de posição dessas proteções, que compreendem a grade de acesso as correias de transmissão entre motor e eixo das facas rotativas, posicionamento correto da estrutura de inserção das bobinas de papel ou plástico em relação às facas fixas e rotativas, grade de inspeção da área de material triturado.

Para os três locais que deverão ser monitorados quanto a presença ou não das grades de proteção, serão utilizados sensores magnéticos com função de segurança — da marca WEG — modelo SSM5-30R1P2A, juntamente com o respectivo atuador codificado ASSM5-30R1P. Os sensores magnéticos identificados no diagrama elétrico como SS1, SS2 e SS3 serão ligados em série e incorporados ao relé de segurança WEG, modelo CPA-D. Um botão de emergência será instalado na porta do painel elétrico, que deverá ser aterrada conforme NBR 5410.

Serão utilizados dois relés de segurança operando em conjunto, sendo um deles para o monitoramento do botão de emergência (E-Stop na Figura 13), identificado no diagrama elétrico como SRM e outro para os sensores magnéticos, identificado como SRS. A interconexão entre os relés de segurança é feita através de um relé de comando, identificado no diagrama com K0 (Figura 13).

A função do CLP no projeto é interpretar todas as condições lógicas de funcionamento do equipamento, processando essas informações para acionar ou não a partida dos motores da máquina. Ao energizar a máquina, o CLP também será ligado. O monitoramento dos dispositivos de comando e proteção do equipamento é realizado pelo CLP através de suas entradas digitais:

DI1 – Monitoramento do contator de partida (K1) da máquina.

DI2 – Monitoramento do estado do relé de segurança (SRS).

DI3 - Monitoramento inicial da posição da porta de acesso as bobinas de papel/plástico.

DI4 – Monitoramento do exaustor. Para que o motor principal seja acionado é necessário que o motor de exaustão de aparas esteja em operação..

DI5 – Monitoramento do horário de funcionamento do triturador de bobinas de papel/plástico. Será possível controlar os períodos de operação da máquina. Uma lâmpada amarela na porta do painel indicará condição de horário imprópria de operação.

DI6 – Monitoramento da rotação nominal do motor principal. Ao finalizar a partida, o *soft-starter* fornece indicação de funcionamento a plena rotação. Essa é a condição que fornece a possibilidade de desbloqueio da porta de acesso as bobinas de papel/plástico.

TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS

As entradas digitais do CLP fornecerão as condições a serem processadas pelo dispositivo controlar o funcionamento da máquina. Quanto às saídas digitais, serão utilizadas três das quatro disponíveis:

DO1 – Liga o exaustor de aparas de papel/plástico.

DO2 – Habilita o *soft-starter* para partida do motor principal.

DO3 – Energiza a chave de bloqueio da porta de acesso às bobinas, impossibilitando a inserção de material a ser triturado.

Os cabos utilizados no interior do painel para suprirem a alimentação de comando e segurança da máquina foram dimensionados para atender a norma regulamentadora NBR5410 e para a alimentação do painel elétrico e do motor principal de 75 kW, serão utilizados condutores de cobre com isolação PVC 70°C. O comprimento da passagem dos cabos de alimentação entre o painel de distribuição da empresa e o painel da máquina compreende 12 metros. Os cabos serão instalados em eletroduto aparente de seção nominal circular, de acordo com o método de referência B1 da norma NBR 5410. Para condutores fases será adotada a cor preta, com as designações de fases R, S e T, através de anilhas em ambas as suas extremidades. O condutor PE (Terra) deverá ser verde ou verde/amarelo. Os cabos de alimentação da máquina foram dimensionados atendendo os critérios de capacidade de condução de corrente e limite de queda de tensão admissível.

Levando em consideração que o triturador de bobinas possui 2 motores trifásicos sendo o principal de 75 kW e o do exaustor de 11 kW, obtém-se em suas respectivas placas de informações as correntes nominais de 122 A e 18 A. Adicionalmente, os elementos de controle e comando do painel somados não ultrapassam os 2 A à tensão nominal da máquina.

Para dimensionamento através do método de limite da queda de tensão faz-se o uso da Equação 1:

Equação 1 - Seção do Condutor

$$S_C = \frac{\sqrt{3} \rho I_c L_c}{V_{ff} \Delta V_c} \times 100$$

S_C = Seção do condutor (mm^2)

ρ = resistividade específica do material do condutor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

I_c = corrente do circuito (A)

L_c = comprimento do circuito (m)

V_{ff} = tensão entre fases (V)

ΔV_c = queda de tensão máxima admitida no projeto (%)

Nesta aplicação temos $I_c = 142\text{A}$ e $L_c = 12\text{m}$, obtendo-se um condutor de 4mm^2 por este critério de queda de tensão admissível. A indutância do alimentador é desprezível para dimensionamento do condutor. Assim, os condutores a serem utilizados serão $3 \times 70\text{mm}^2$, determinados a partir do método de Capacidade de condução de corrente, pois sua faixa compreendem os dois métodos analisados.

O condutor PE poderá ter sua seção nominal à metade do valor dos condutores fases, conforme orientação normativa. Assim deverão possuir 35mm² de seção nominal e obrigatoriamente na cor verde ou verde/amarelo.

Para o dimensionamento dos condutores de alimentação do motor principal, adota-se a orientação da tabela de dimensionamento de condutores do fabricante do *soft-starter* WEG — apresentado na Figura 10 — que atribui o uso de cabos de cobre de 70 mm² para alimentação da carga. Serão instalados condutores unipolares, isolamento em PVC, 70°C em eletroduto aparente de seção circular.

Figura 10 - Alimentação e cabeamento recomendados

SSW-07 Model	Power Cable		Grounding Cable	
	(mm ²)	AWG	(mm ²)	AWG
17 A	4	12	4	12
24 A	6	10	6	10
30 A	6	10	6	10
45 A	10	8	6	10
61 A	16	6	10	8
85 A	25	4	10	8
130 A	50	1	25	4
171 A	70	2/0	35	2
200 A	95	3/0	50	1
255 A	120	250 kcmil	2.5	14
312 A	185	350 kcmil	2.5	14
365 A	240	500 kcmil	2.5	14
412 A	300	600 kcmil	2.5	14

(Fonte: Manual do Usuário do SSW07 Tabela 3.5)

Além de que, dado o recente dimensionamento dos cabos de alimentação do painel principal ter revelado que a distância de 12 metros entre a fonte e o painel em questão não é significativa para o dimensionamento pelo método de limite de queda de tensão admissível, assim uma distância menor de 10 metros entre o painel da máquina e o motor principal não se sobressairá ao método de capacidade de condução de corrente. Adota-se então, novamente os condutores 3x70mm² para alimentação do motor principal, na cor preta, identificados através de anilhas U, V e W respectivamente em ambas as extremidades. O condutor PE deverá ser de 35mm² obrigatoriamente na cor verde ou verde/amarelo.

A instalação do motor de exaustão compreende uma distância em relação ao painel da máquina menor que 10 metros e recorrendo novamente a Figura 10, encontra-se a seção nominal de 2,5mm² para os condutores para corrente de até 21 A, com anilhas de identificação U, V e W respectivamente em ambas as extremidades dos cabos. O condutor de proteção deverá ser da mesma bitola e obrigatoriamente na cor verde ou verde/amarelo.

Os cabos de iluminação e comando da máquina serão de 1mm², azul escuro para o positivo e negativo. Na alimentação do circuito com 440/220 Vca utilizado amarelo, obedecendo a orientação normativa.

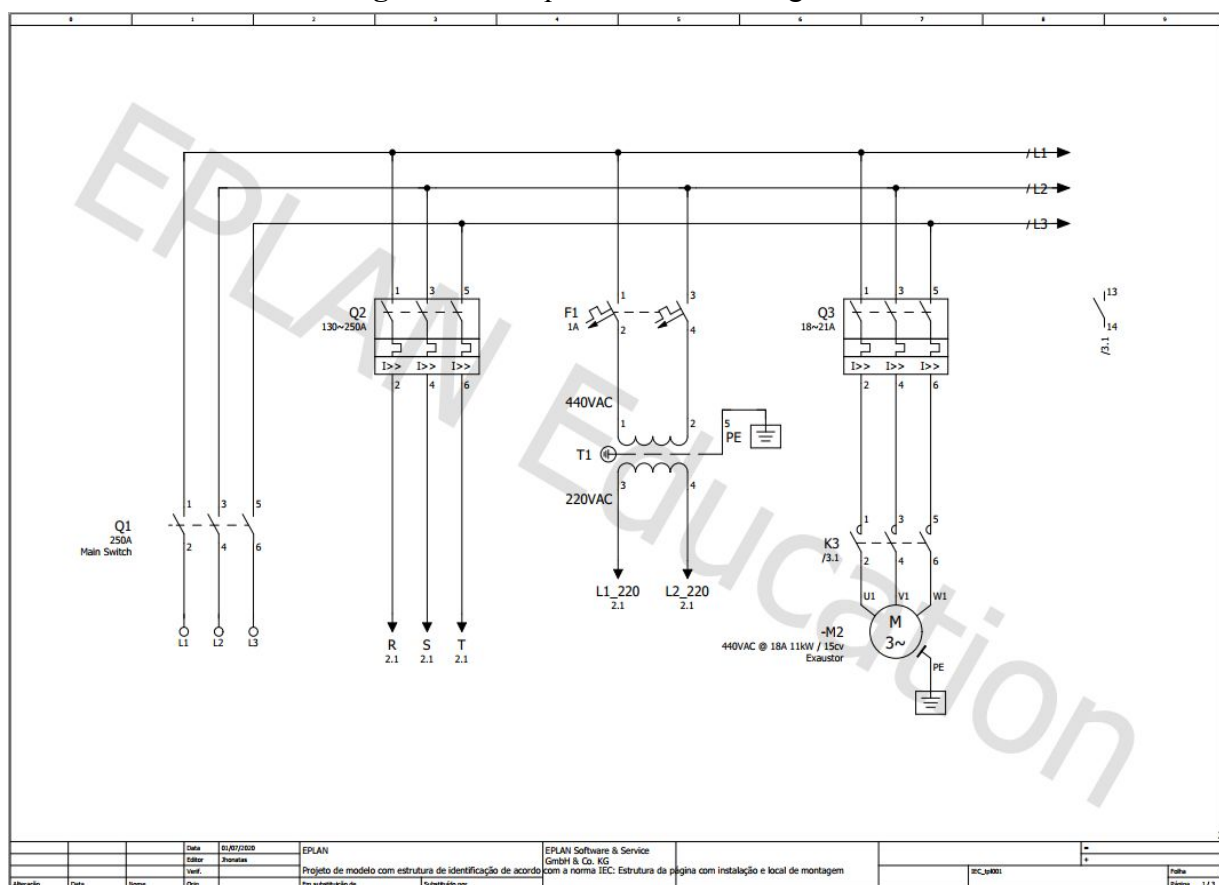
4. Resultados obtidos

Considerando que a proposta deste trabalho é o dimensionamento de um dispositivo de partida para um motor de indução trifásico e automação de uma Triturador de Bobinas de

TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS

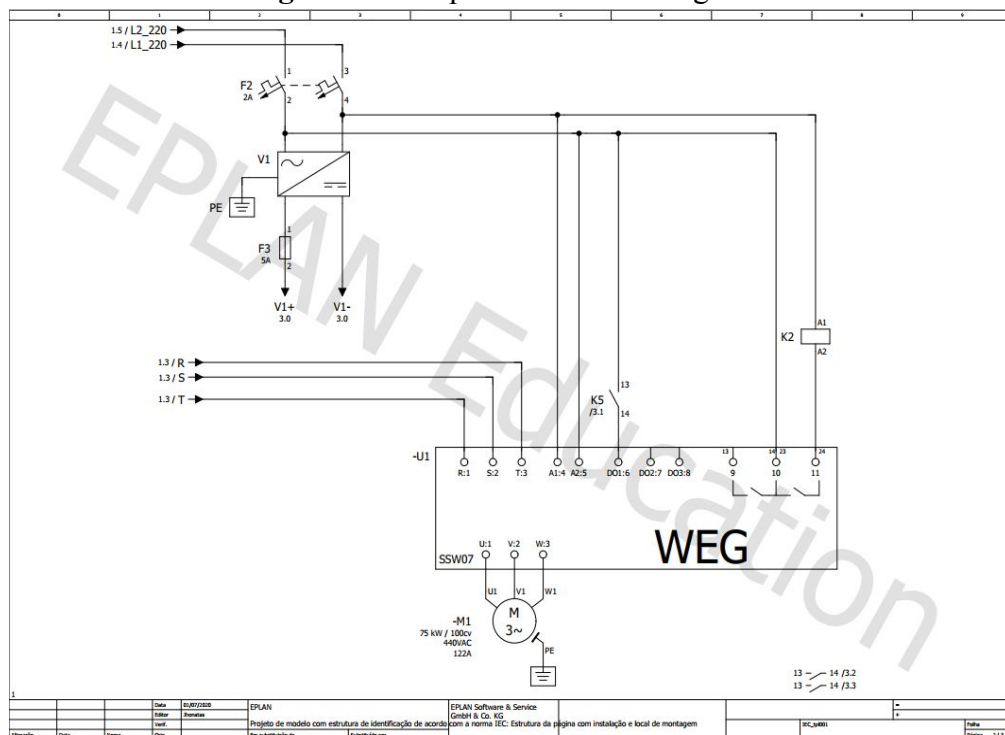
Papel, cujos componentes foram descritos na Metodologia, além da coleta dos requerimentos do projeto e levadas em consideração as normas vigentes, foi possível elaborar um diagrama esquemático (Figura 11, Figura 12 e Figura 13) que permitisse o controle seguro e eficaz da máquina, através de uma partida suave pelo *soft-starter* e acionamento pela lógica ladder apresentada na Figura 14. O esquemático foi elaborado com base na simbologia padrão da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC - *International Electrotechnical Commission*) e em projetos anteriores da planta em que se encontra a máquina atualmente. Os componentes principais do projeto contemplam o *soft-starter* WEG modelo SSW070177T5SZ e o controlador lógico programável Siemens modelo LOGO! 24RCE,6ED1052-1HB08-0BA0, identificados no diagrama esquemático como -U1 e -U4 respectivamente.

Figura 11 - Esquemático Geral Página 1



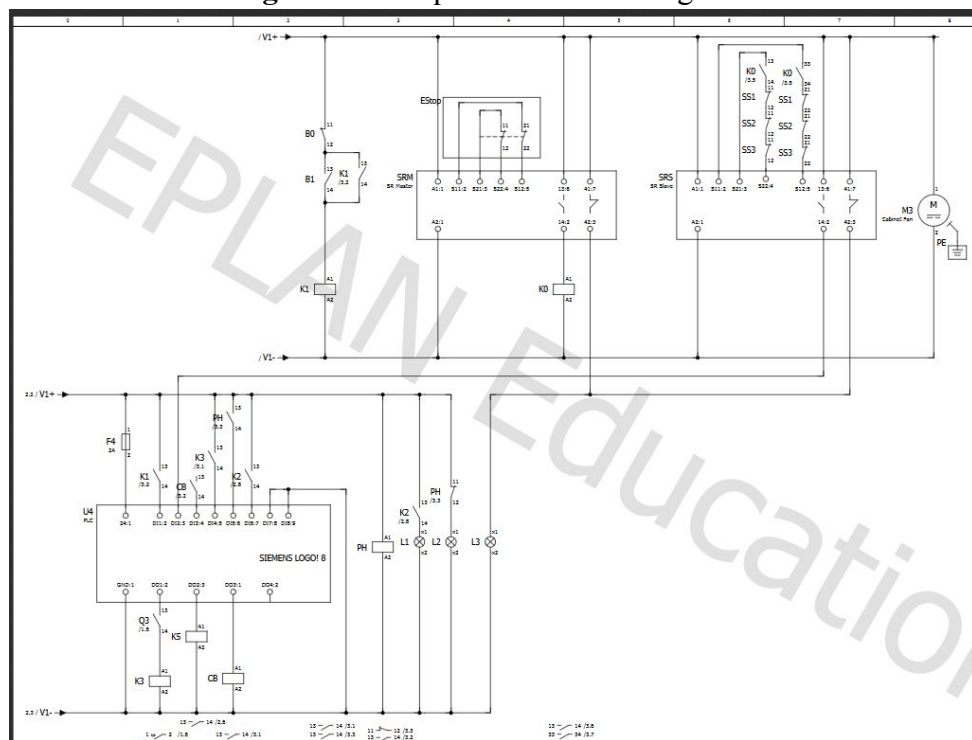
(Fonte: Próprio Autor)

Figura 12 - Esquemático Geral Página 2



(Fonte: Próprio Autor)

Figura 13 - Esquemático Geral Página 3

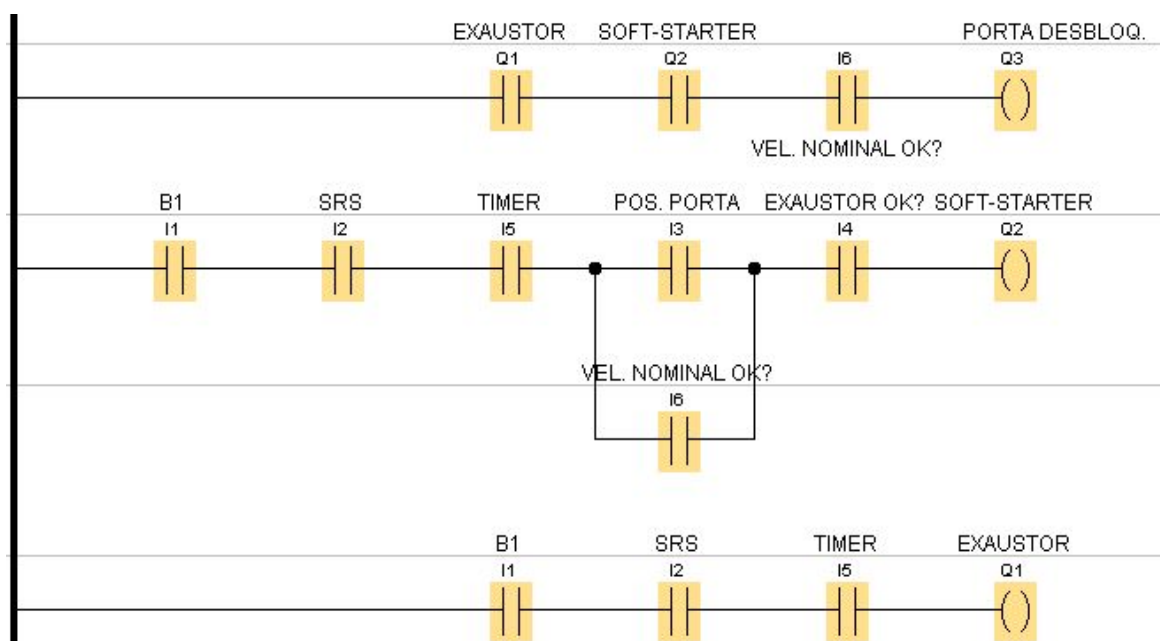


(Fonte: Próprio Autor)

A Figura 14 apresenta a lógica ladder responsável pelo funcionamento do equipamento:

- A partida do equipamento é feita através do monitoramento do contato de partida (apresentado na Figura 14 como I1), dos relés de segurança (I2) e do programador horário (I5);
- Após isso, é verificado se a porta está fechada (I3) e se o motor de exaustor de aparas está ligado (I4) e a partir disso é enviado sinal para iniciar a partir do motor principal pelo *soft-starter* (Q2);
- Após a partida, é verificado se o motor principal (I4) chegou à velocidade nominal (I4), e no caso afirmativo, é desbloqueado a porta para acesso (Q3) e,
- Caso os relés de segurança acionem, o equipamento seja desligado ou esteja operando fora dos horários programados, é enviado um sinal de desligamento para o *soft-starter*.

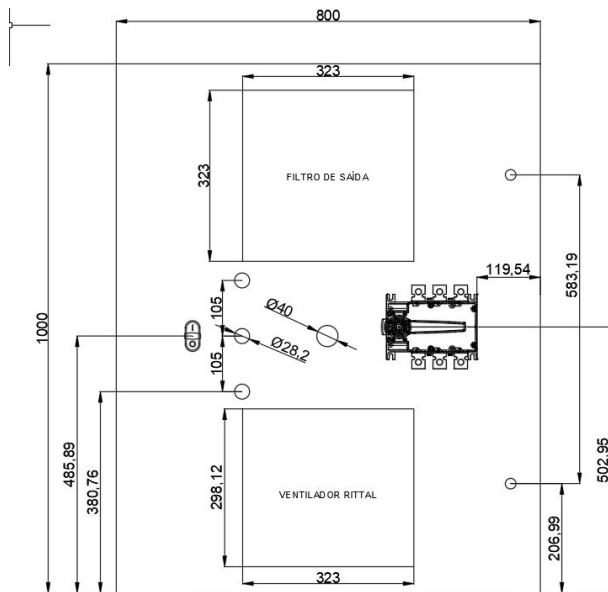
Figura 14 - Esquema Ladder



(Fonte: Próprio Autor)

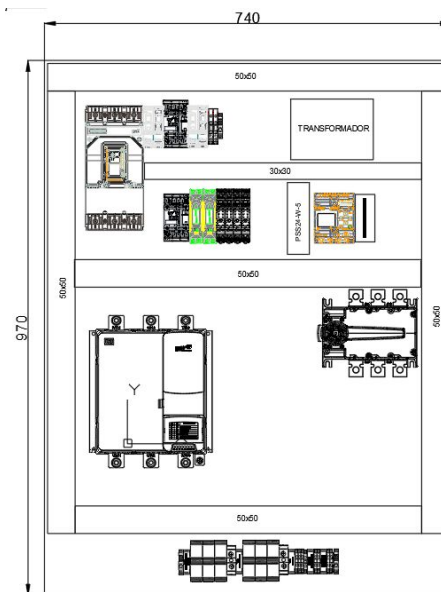
Após a finalização do esquemático, foram definidos os componentes que atendessem os requisitos do circuito e então foi possível obter os desenhos e dimensões de cada dispositivo, permitindo a escolha de um modelo de painel com dimensões 1000mm x 800mm x 350mm. A partir disso os componentes foram configurados na porta e na placa de montagem do painel, conforme mostrados nas Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 - Layout da Porta



(Fonte: Próprio Autor)

Figura 16 - Layout da Placa de Montagem



(Fonte: Próprio Autor)

5. Conclusão

O acionamento do motor principal do triturador de bobinas de papel e plástico através de chave estrela-triângulo apresenta pico de corrente inferior ao acionamento por partida direta, mas mesmo assim ainda elevados para a instalação elétrica da planta. Diante desse problema, o dimensionamento e emprego de um *soft-starter* para executar a tarefa de partida e controle do motor mostrou-se como a melhor alternativa, agregando confiabilidade, arranque suave e valor limite da corrente de partida da máquina. Com relação ao dimensionamento e escolha do *soft-starter*, fez-se necessário um levantamento das grandezas elétricas nominais da trituradora de bobinas, prévio estudo sobre questões pertinentes a instalações elétricas industriais além de familiarização e busca aos modelos de drives disponíveis no mercado. Com isso, optou-se pela escolha do drive da fabricante nacional WEG. O modelo escolhido possui potência nominal superior ao valor nominal do motor a ser acionado, conforme própria orientação da fabricante, garantindo maior confiabilidade e robustez à chave estática.

Após definido o método de partida, marca e modelo do *soft-starter*, foram definidos outros requisitos de funcionamento da máquina, a fim de oferecer maior segurança para operador, equipamento e pessoas que transitam na área de descarte de resíduos da empresa. Nessa parte, recorreu-se a normas de instalações elétricas e de segurança de máquinas e equipamentos, NBR 5410, NR 10 e NR 12. Dentre os inúmeros dispositivos de segurança disponíveis, optou-se pela fabricante WEG, em virtude de disponibilidade, confiabilidade e fácil implementação com os demais dispositivos do projeto. A lógica de segurança foi

implementada através de um dispositivo de controle de parada de emergência CAT4, que atende a NR 12. Os dispositivos de monitoramento e bloqueio, como sensores magnéticos, chaves de bloqueio e botão de emergência foram escolhidos de modo a possuírem redundância nos contatos de monitoramento, novamente de acordo com orientações normativas.

A automação da trituradora de papel através do uso de um CLP e um *soft-starter* agregou melhorias, versatilidade e proporcionou indicações visuais das condições operacionais e de segurança da máquina. Uma melhoria adicional é a possibilidade de se programar os horários e dias de funcionamento através de um programador horário.

6. Referências Bibliográficas:

AGUIRRE, Luis Antonio et al. **Enciclopédia de Automática: Controle e Automação**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007. v. 2. ISBN 978-85-212-0409-1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. **NBR5410 - Instalações elétricas de baixa tensão**. 2008.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2013. ISBN 978-85-365-1961-6.

LOGO! Product information. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109768855/logo!-product-information-?dti=0&pnid=13617&lc=en-WW>. Acesso em: 11 mar. 2020.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR-12 - SEGURANÇA NO TRABALHO E EQUIPAMENTOS**. 2015. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-12.pdf

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. ISBN 978-85-216-3372-3.

SANTOS, Afonso Henrique Moreira *et al.* **Conservação de Energia: Eficiência de Equipamentos e Instalações**. 3. ed. Itajubá: Fupai, 2006.

SOFT-STARTER SSW-07: Manual de Programação. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h08/hd9/WEG-ssw07-manual-de-programacao-0899.5530-1.5x-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS

SOFT-STARTER Users Manual. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h8f/h39/WEG-SSW07-user-manual-0899.5832-en-es-pt.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2020.

SOTOMAYOR, Jorge; MELLO, Luis Fernando; BRAGA, Denis de Carvalho. **Bifurcation analysis of the Watt governor system.** Comput. Appl. Math., Petrópolis, v. 26, n. 1, p. 19-44, 2007. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-03022007000100002&lng=en&nrm=iso>. access on 28 June 2020.

LOGO! 24RCO: Technical Data. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/175859?pdtdi=td&dl=en&pnid=13620&lc=en-W>. Acesso em: 11 mar. 2020.