

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**THIAGO GUANDALINI CUNHA**

**APLICAÇÃO DE INVERSORES, CONTROLADORES E  
PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO NA AUTOMAÇÃO  
INDUSTRIAL EM ELEVAÇÃO DE CARGA**

**Orientador: Prof. Dr. Dennis Brandão**

**São Carlos - SP**

**2011**



**THIAGO GUANDALINI CUNHA**

**APLICAÇÃO DE INVERSORES, CONTROLADORES E  
PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO NA AUTOMAÇÃO  
INDUSTRIAL EM ELEVAÇÃO DE CARGA**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como trabalho final da disciplina Projeto de Formatura, sendo parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de engenheiro eletricista.

Área de concentração:  
Automação Industrial

Orientador: Prof. Dr. Dennis Brandão

**São Carlos - SP**

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Cunha, Thiago Guandalini

C972a           Aplicação de inversores, controladores e protocolos de comunicação na  
automação industrial em elevação de carga / Thiago Guandalini Cunha ; orientador Dennis  
Brandão -- São Carlos, 2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em  
Automação Industrial) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2011.

1. Automação industrial. 2. Elevação de carga. 3. Talha. 4. Inversor. 5. Controlador  
lógico programável. 6. Profinet. I. Título.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por minha vida.

Agradeço a todos os professores que participaram direta ou indiretamente da minha formação acadêmica, assim como os funcionários e técnicos.

Sou grato aos meus amigos e amigas pelas horas de estudo e também de descontração, fazendo do ambiente acadêmico uma segunda casa e um ótimo lugar para crescermos juntos.

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio constante e verdadeiro à minha formação pessoal e profissional. A todos os esforços de meu pai, Gilmar, e minha mãe, Selma, para manterem meus estudos, completando mais uma etapa da minha vida.

"Tudo tem seu tempo e até certas manifestações mais vigorosas e originais entram em voga ou saem de moda. Mas a sabedoria tem uma vantagem: é eterna."

Baltasar Gracián





## RESUMO

Esta monografia apresenta o estudo e o projeto de aplicações industriais em elevação de carga utilizando-se conhecimentos de acionamentos elétricos, controle, protocolos de comunicação e tecnologias inovadoras que possibilitaram os diferentes ramos de aplicação a automatizar e aperfeiçoar processos fabris e linhas de produção. O trabalho é dividido em três partes. A primeira consiste em uma abordagem conceitual sobre toda a teoria envolvida na aplicação (Revisão Bibliográfica), há uma abordagem da aplicação da teoria juntamente com a tecnologia inovadora, integrando conhecimentos de sistemas digitais, controle, eletrônica de potência, instalações elétricas e automação industrial utilizando o conceito SIEMENS *Totally Integrated Automation*®. Ao final do trabalho, são apresentados croquis, diagramas elétricos da aplicação, *softwares*, lógicas e parametrizações.

Palavras chave: 1.Automação Industrial. 2.Elevação de Carga. 3.Talha. 4.Inversor 5.Controlador Lógico Programável. 6.*Profinet*.



## ABSTRACT

This monograph presents the study and design of industrial applications in cranes using knowledge of drives, control, communication protocols and innovative technologies that enabled the different branches of application to automate and improve manufacturing processes and production lines. The work can be divided into three portions; the first is a conceptual approach to the whole theory involved in the application (Literature Review), an approach for the application of the theory along with the innovative technology in the Siemens products, integrating knowledge of digital systems, control, power electronics, electrical and industrial automation concept, using the Siemens Totally Integrated Automation ®. At the end of the work, it is presented sketches diagrams of electrical application, software, programming and parameterizations used.

Keywords: 1. Industrial Automation. 2. Crane. 3. Hoist. 4. Drive. 5. Programmable Logic Controller. 6. Profinet.



## APRESENTAÇÃO

Esta monografia apresenta o trabalho realizado na disciplina SEL 394-Projeto de Formatura, do Curso de Engenharia Elétrica - Ênfase em Eletrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Trata-se do estudo e projeto de automação industrial em elevação de carga totalmente integrada utilizando-se conceitos de inversores de frequência, controladores lógicos programáveis e redes PROFIBUS.

A motivação deste trabalho surgiu durante o estágio realizado na empresa SIEMENS, no ramo de automação industrial. Através do interesse pela área, procurou-se realizar um estudo geral dos equipamentos de última geração utilizados na indústria para manipular talhas, elevadores e pontes rolantes dos mais diferentes tipos. A engenharia fascinante destes dispositivos e a flexibilidade de utilização despertaram o interesse em abordá-los.



# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	19
2.	OBJETIVOS .....	21
3.	RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS.....	22
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
4.1.	CONCEITOS INICIAIS .....	23
4.1.1.	O INVERSOR DE FREQUÊNCIA VARIÁVEL .....	27
4.1.2.	O CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	30
4.1.3.	REDES PROFIBUS E PROFINET .....	31
4.1.4.	ENCODER.....	32
4.1.5.	TALHAS E PONTES ROLANTES .....	33
4.1.6.	CHOPPERS DE FRENAGEM .....	37
5.	METODOLOGIA.....	39
5.1.	MEMORIAL DESCRITIVO .....	39
5.2.	MATERIAIS.....	43
5.2.1.	INVERSOR DE FREQUÊNCIA SINAMICS G120D.....	43
5.2.2.	UNIDADE REMOTA ET200S .....	44
5.2.3.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL S7-300 .....	44
5.2.4.	MOTOR DE ELEVAÇÃO .....	45
5.2.5.	MOTOR DE FIXAÇÃO .....	46
5.2.6.	SENSORES DE FIM DE CURSO.....	47
5.2.7.	BOTOEIRAS.....	48
5.2.8.	CAMERAS DE DETECÇÃO DE DEFEITO.....	50
5.2.9.	CONTADORES, RELÉS E DISJUNTORES.....	51
5.3.	LÓGICA DE OPERAÇÃO .....	52
5.3.1.	ENDEREÇOS DE REDE .....	52
5.3.2.	TELEGRAMAS DE COMUNICAÇÃO .....	53
5.3.3.	SOFTWARES.....	55
5.3.4.	CONTROLE DE VELOCIDADE DO ELEVADOR.....	57
5.4.	RESULTADOS .....	58
6.	DISCUSSÕES.....	62
7.	CONCLUSÕES.....	63
8.	REFERÊNCIAS.....	64
9.	APÊNDICE .....	65
9.1.	APÊNDICE A – DIAGRAMAS ELÉTRICOS.....	65
9.2.	APÊNDICE B – DIAGRAMAS SFC .....	75
9.3.	APÊNDICE C – PARAMETRIZAÇÃO INVERSOR G120D.....	78
9.4.	ANEXO D – BLOCO PROGRAMÁVEL DE 2 VELOCIDADES 3 ANDARES .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela para seleção de resistor de frenagem (11) .....	38
Tabela 2 - Descrição dos sensores.....	41
Tabela 3 - Dados de Placa do Motor de Elevação.....	46
Tabela 4 - Dados de Placa do Motor de Fixação.....	47
Tabela 5 - Tabela dos <i>Bits</i> de Controle (3).....	54
Tabela 6 - Palavra de Estado do Inversor (3) .....	55



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motor trifásico assíncrono SIEMENS 1LA7.....	23
Figura 2 - Servo motor SIEMENS 1FK7 .....	24
Figura 3 - Limites de operação de componentes semicondutores de potência (2).....	24
Figura 4 – Seção transversal de um Motor de Indução Trifásico.....	25
Figura 5 - Característica torque/velocidade de um motor de indução.....	26
Figura 6 - Redução do torque com aumento da velocidade .....	26
Figura 7 - Família de Inversores SIEMENS Sinamics S120.....	27
Figura 8 - Diagrama do Bloco de Inversão (3).....	28
Figura 9 - Modulação por largura de pulsos.....	28
Figura 10 - Instalação usual de um inversor.....	29
Figura 11 - Família de controladores modulares SIEMENS Simatic S7 .....	30
Figura 12 - Exemplo de uma rede utilizando-se PROFINET (5).....	32
Figura 13 - <i>Encoder</i> absoluto .....	33
Figura 14 - Ponte Rolante ( <i>crane</i> ) transportadora de <i>container</i> , instalada em um porto. ....	34
Figura 15 - Aplicação de ponte rolante em uma usina siderúrgica .....	35
Figura 16 - Modelo Mecânico de uma Talha (10).....	35
Figura 17 - Circuito do <i>Chopper</i> .....	38
Figura 18 - Croqui mecânico do sistema automatizado (13).....	41
Figura 19 - Croqui da fixação do elevador.....	42
Figura 20 - Inversor SIEMENS, SINAMICS G120D .....	43
Figura 21 - Unidade remota para leitura dos sensores de posição .....	44
Figura 22 - PLC S7 300 com conexão PROFINET .....	45
Figura 23 - Dados de placa do motor de elevação .....	45
Figura 24 - Dados de placa do motor de fixação.....	46
Figura 25 - Sensor de fim de curso magnético .....	47
Figura 26 - Sensores de fim de curso mecânico .....	48
Figura 27 - Botoeira liga-desliga.....	49
Figura 28 - Botão de emergência .....	49
Figura 29 - Chave seletora de modos de operação automático/manual - padrão/pulmão .....	50
Figura 30 - Relé de Sobrecarga.....	51
Figura 31 - Disjuntores Motor.....	51
Figura 32 – Contatores .....	52
Figura 33 - Interligações de rede entre equipamentos utilizados na estação de elevação .....	53
Figura 34 - Ambiente de Trabalho SIMATIC MANAGER.....	56
Figura 35 - Ambiente de trabalho do STARTER.....	57
Figura 36 - Ligação elétrica em campo .....	58
Figura 37 - Carroceria pronta para ser elevada .....	59
Figura 38 - Carroceria transportada para o terceiro andar.....	59
Figura 39 - Carroceria sendo transportada para o primeiro andar.....	60
Figura 40 - Vista do sistema de fixação de segurança do elevador.....	61
Figura 41 - Carroceria durante o transporte entre os andares 2 e 3.....	61
Figura 42 - Bloco programado para atender à aplicação desenvolvida.....	80

## SIGLAS E ABREVIATURAS

CLP	Controlador de Lógica Programável
VSD	<i>Variable Speed Drive</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
SCR	<i>Silicon Controlled Rectifier</i>
IGBT	<i>Insulated-Gate Bipolar Transistor</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
EMC	<i>Electromagnetic Compability</i>
RFI	<i>Radio Frequency Interference</i>
SFC	<i>Sequential Function Blocks</i>
VDC	Tensão em corrente contínua
VAC	Tensão em corrente alternada
SD Card	<i>Secure Digital Card</i>

# 1. INTRODUÇÃO

Valendo-se de várias hipóteses, Rosário [1], constata que

*Desde os tempos mais remotos, o homem vem tentando fazer com que utensílios e ferramentas nos substituam no trabalho, sendo o seu maior sonho criar um autômato que realize todas as suas funções operárias.*

*No fim da Idade Média, que é um período em que vemos grandes avanços nas áreas da Mecânica, da Física e da Química, é também a época em que se deu início ao pensamento da máquina para substituir o homem.*

*Nos últimos anos, com a globalização, as indústrias passaram por grandes transformações, com o intuito de se tornarem mais competitivas. Foi necessária a modernização de seus parques industriais, visando à competitividade de seus produtos, por meio do aumento da qualidade, redução de custos e preços mais acessíveis, dando origem a um conjunto de técnicas e procedimentos designados de AUTOMAÇÃO.*

*A modernização das fábricas surge com o intuito de adaptação às exigências e competitividade do mercado. Podemos dizer que a automação num processo produtivo, tem a finalidade de facilitar esses processos, acarretando na realização de sistemas otimizados capazes de produzir bens com menor custo, com maior quantidade, em menor tempo e com maior qualidade.*

O mundo vem presenciando nos últimos anos enormes avanços na área tecnológica, em que os circuitos eletrônicos são cada vez mais rápidos e eficientes, com redução significativa das dimensões e custos. Computadores e periféricos também se desenvolvem rapidamente, em um círculo virtuoso com o desenvolvimento de computadores mais poderosos com capacidade de implementação de aplicações mais complexas que, por sua vez, exigem mais capacidade computacional.

O desenvolvimento de circuitos integrados possibilitou a produção em larga escala e a baixo custo de microprocessadores dedicados. Esses dispositivos eletrônicos estão presentes não apenas nos equipamentos industriais, como também nos automóveis, nas máquinas de lavar, nos sistemas de ar-condicionado, nos aparelhos de vídeo etc. Os equipamentos mecânicos também sofreram profundas modificações conceituais com a incorporação de capacidade de processamento, tornando-os mais rápidos, eficientes e confiáveis, com custos de implementação cada vez menores. Esses resultados vêm causando uma enorme revolução tecnológica na Engenharia e na sociedade em geral. Quando são associados aos sistemas mecânicos é que se observa um maior impacto nos sistemas produtivos e no cotidiano das pessoas.

Ao longo dos últimos anos é cada vez mais freqüente a utilização de componentes eletrônicos (tais como: sensores, atuadores eletromecânicos e circuitos de controle) para acionamento e para

controle de sistemas mecânicos, dando origem à Mecatrônica, que pode ser definida como integração concorrente de conhecimentos nas áreas de Mecânica, de Eletrônica e de Computação. Essa combinação tem possibilitado a simplificação dos sistemas mecânicos, a redução de custos e de tempo de desenvolvimento e a obtenção de produtos com elevado grau de flexibilidade e capacidade de adaptação em diferentes condições de operação.

O conceito de Mecatrônica pode ser empregado em uma vasta gama de aplicações, entre elas as áreas de Automação Industrial, de Biocibernética e de Domótica (Automação Residencial).

## **2. OBJETIVOS**

Com respeito às motivações expostas anteriormente, concentraram-se esforços para realizar o estudo e projeto em elevação de carga utilizando-se tecnologias de última geração integrando conceitos de inversores de potência, comunicação e controladores para atender às normas de segurança vigentes.

Os conceitos abordados neste projeto podem ser estendidos a todos os sistemas de elevação elétricos de duas velocidades e até quatro posições definidas, que apresentem motores assíncronos, sensores, controladores lógicos programáveis e necessitem de uma lógica de segurança eficaz no intuito de automatizar uma linha de produção e otimizar o espaço na indústria.

### 3. RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Este trabalho foi realizado basicamente em sete etapas:

- Estudo inicial dos sistemas envolvidos na aplicação tecnológica em elevação de cargas industriais.
- Cálculo do dimensionamento das talhas.
- Visitas às empresas clientes.
- Implementação de *softwares* e parametrizações em campo.
- Geração de resultados para direcionamento de um projeto mais sofisticado.
- Consulta às normas de segurança vigentes para a aplicação da tecnologia disponível.
- Exibição do esquemático funcional mecânico e elétrico.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O trabalho apresentado nesta monografia envolve vários conceitos desenvolvidos durante o curso e, desta maneira, será feita uma revisão bibliográfica desses principais conceitos teóricos, não se pretendendo esgotar o assunto, mas sim apresentar de forma sucinta os tópicos mais importantes para o entendimento do projeto.

Os tópicos que serão abordados referem-se a motores assíncronos, CLP, inversores de frequência, redes industriais e instalações elétricas em sistemas trifásicos. Por fim, é feita uma abordagem das normas de segurança vigentes para o tipo de aplicação envolvido.

### 4.1. CONCEITOS INICIAIS

Nesta aplicação serão usados motores como os da Figura 1, que possuem bobinas que acionam freios eletro-mecânicos. Estes são chamados de “moto-freio”. O motor da Figura 2, chamado de servo, é utilizado em posicionamentos complexos e não será utilizado nesta aplicação.



Figura 1 - Motor trifásico assíncrono SIEMENS 1LA7

Um *drive* de velocidade variável consiste de conversor de energia.

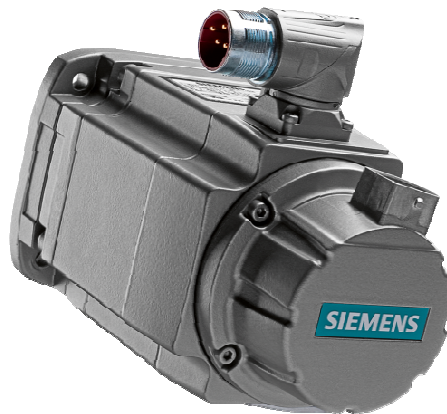


Figura 2 - Servo motor SIEMENS 1FK7

Inicialmente, os *Variable Speed Drives* (VSD's) consistiam em combinações de motores DC e AC que eram usados em controladores rotativos. Os primeiros controles eletrônicos usavam tiristores retificadores (SCR's) que controlavam a tensão e, respectivamente, a velocidade de motores DC. Estes *drives* de corrente contínua ainda são usados em larga escala e oferecem capacidade de controles muito sofisticados.

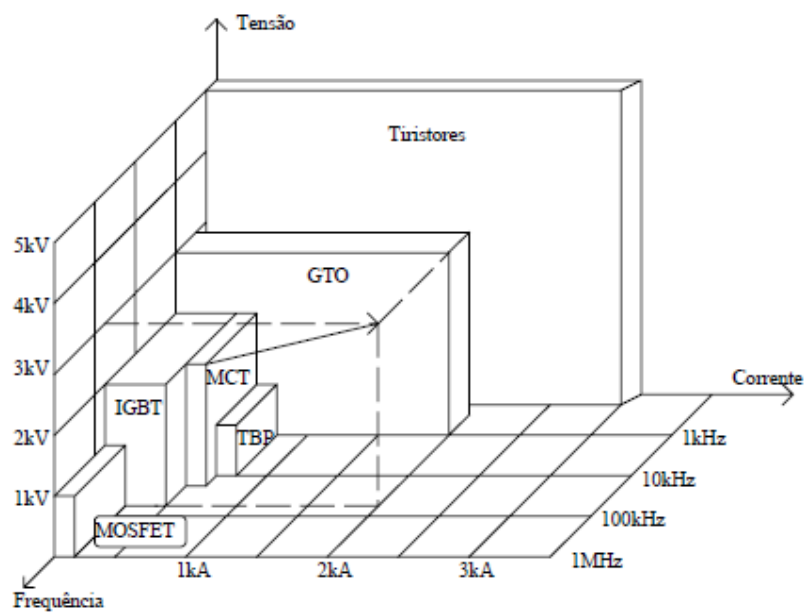


Figura 3 - Limites de operação de componentes semicondutores de potência [2]

Entretanto, o motor DC é grande, apresenta alto custo e requer manutenção periódica nas escovas. O motor AC de indução é simples, apresenta baixo custo, é confiável e largamente usado em todo o mundo.

Para se controlar a velocidade de um motor de indução AC um controlador mais complexo, chamado de Inversor, deve ser utilizado.



Para se entender como um inversor funciona é necessário entender como um motor de indução trabalha, vide Figura 4.

Um motor de indução assemelha-se a um transformador. Quando o estator (a parte fixa, sem movimentação) é conectado a uma fonte de tensão trifásica, um campo magnético que gira na frequência da fonte é gerado.

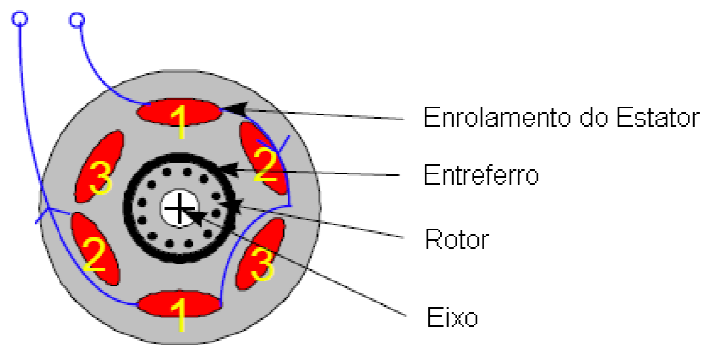


Figura 4 – Seção transversal de um Motor de Indução Trifásico

Este campo magnético atravessa o entreferro entre o estator e rotor e causa fluxo de corrente induzido nos enrolamentos do rotor. Isso produz uma força sobre o rotor quando a corrente interage com o campo magnético variável, e o motor gira.

Se os enrolamentos estão dispostos em vários pares (ou pólos), a frequência do campo será menor que a frequência aplicada (por exemplo, dois pólos =  $50/60\text{Hz} = 3000/3600\text{rpm}$ , mas quatro pólos =  $50/60\text{Hz} = 1500/1800\text{rpm}$ ).

Entretanto, se o motor gira com a mesma velocidade do campo girante, não haverá mudança no campo magnético girante e portanto nenhum torque. Desta forma, o rotor sempre gira um pouco mais devagar que o campo girante para gerar torque. Esta diferença de velocidade é conhecida como escorregamento.

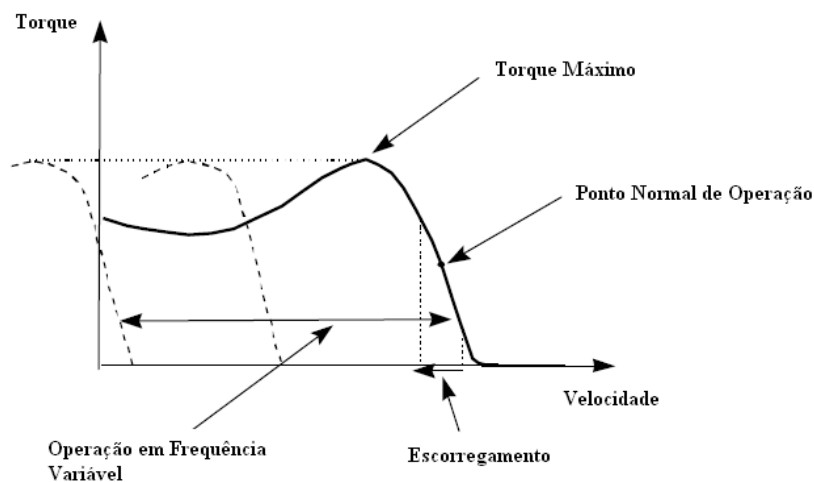


Figura 5 - Característica torque/velocidade de um motor de indução

Assim, a velocidade do motor depende tanto da frequência aplicada, quanto do arranjo do enrolamento e da carga aplicada. Portanto, para controlar a velocidade do motor é necessário controlar a frequência da alimentação.

Caso a frequência seja reduzida, a tensão também deve ser reduzida ou o fluxo magnético será tão alto que o motor irá saturar. Assim a tensão deve ser controlada também. Se a frequência aumenta acima do normal, mais tensão será necessária para manter o fluxo máximo; isto geralmente não é possível, então menos torque estará disponível em altas velocidades, vide Figura 5 e Figura 6.

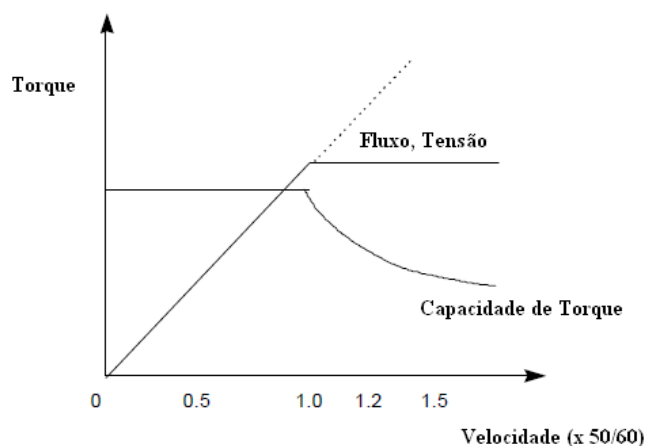


Figura 6 - Redução do torque com aumento da velocidade

Portanto, para controlar a velocidade de um motor AC padrão, a tensão e a frequência aplicadas devem ser controladas.

Embora seja difícil controlar a tensão e frequências para altas potências, a utilização de um motor de indução padrão envolve o custo de construção de um sistema de controle eficaz.

#### 4.1.1. O INVERSOR DE FREQUÊNCIA VARIÁVEL

Um conversor eletrônico que converte corrente contínua (DC) para corrente alternada (AC) é conhecido como um inversor. Controladores eletrônicos de velocidade para motores AC normalmente convertem a fonte de tensão AC / DC utilizando um retificador, e depois convertem de volta para uma frequência variável de alimentação AC de amplitude variável com uma ponte de IGBT's, vide Figura 3. A ligação entre o retificador e o inversor é chamada de *link* DC. O controlador de velocidade (muitas vezes chamado de conversor) é mostrado abaixo, na Figura 7:



Figura 7 - Família de Inversores SIEMENS Sinamics S120

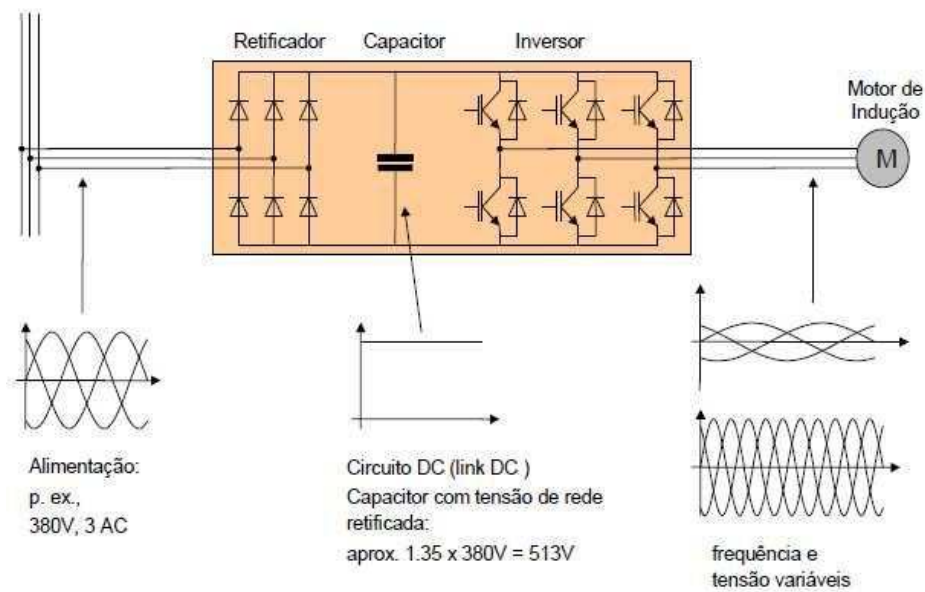


Figura 8 - Diagrama do Bloco de Inversão [3]

A alimentação, que pode ser monofásica (normalmente em baixa potência) ou trifásica, é ligada a um retificador de onda completa que alimenta os capacitores de *link* DC, vide Figura 8. Os capacitores reduzem o *ripple* de tensão (especialmente em alimentação monofásica) e de fornecimento de energia com curtos intervalos de tempo. A tensão nos capacitores não é controlada e depende da tensão de pico AC da alimentação.

A tensão DC é convertida novamente em AC utilizando-se PWM (Modulação por Largura de Pulso). A forma de onda desejada é criada chaveando-se os transistores de saída (IGBT's, Figura 3) em uma determinada frequência (frequência de chaveamento). Variando-se os tempos de condução e não-condução dos IGBT's, a corrente de saída desejada pode ser modulada mas a tensão de saída continua sendo uma série de pulsos de ondas quadradas. A Modulação por Largura de Pulso é mostrada na Figura 9.

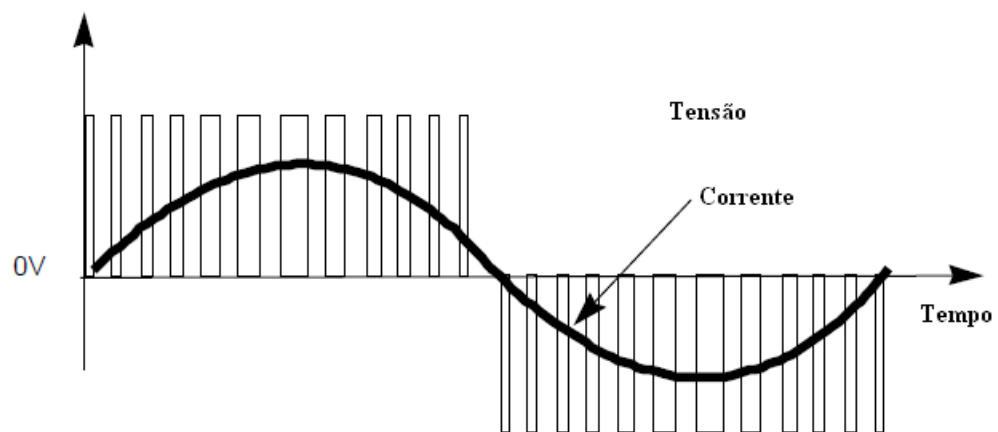


Figura 9 - Modulação por largura de pulsos

Há muitos aspectos complexos dos inversores que foram considerados neste projeto:

- 1- Os sistemas para cálculo dos requisitos do PWM são muito complexos e especialmente desenvolvidos com circuitos integrados específicos.
- 2- A eletrônica de controle geralmente é conectada ao *link* DC, que é conectado à fonte de tensão. Portanto é necessário que os equipamentos do usuário e periféricos estejam devidamente isolados.
- 3- A corrente de saída deve ser sempre monitorada para proteger o inversor e o motor durante uma sobrecarga ou um curto circuito.
- 4- Na primeira vez que o inversor é ligado, os capacitores do *link* DC estão descarregados e a corrente de pico deve ser limitada. Geralmente, um resistor de pré-carga é utilizado durante os primeiros segundos de energização do inversor e logo após é desligado do sistema por um relé.
- 5- Todas as conexões com o inversor, especialmente a fonte e as conexões de controle, podem conter muitas interferências e devem ser filtradas com componentes de proteção corretos como os reatores.

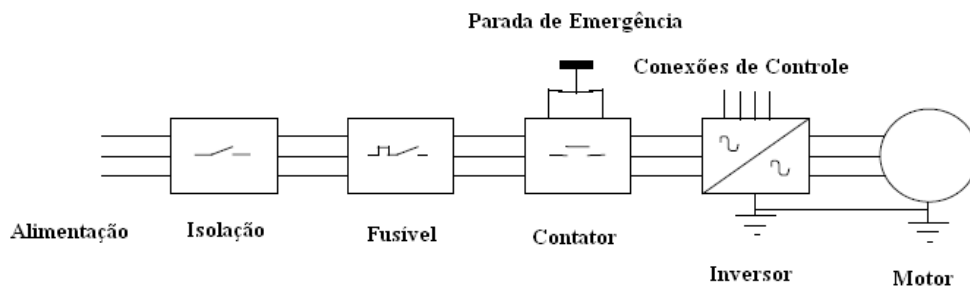


Figura 10 - Instalação usual de um inversor

- 6- Uma fonte de alimentação interna, com tensões de saída variáveis, é necessária para alimentar a eletrônica do controle.
- 7- O inversor, especialmente os IGBT's e diodos retificadores, geram calor que deve ser dissipado utilizando-se ventiladores e dissipadores especialmente projetados.
- 8- A tensão de saída do PWM contém muitas harmônicas de alta frequência (devido ao rápido chaveamento) que podem ser a causa principal de EMI (*Electromagnetic Interference*). Estas interferências podem tanto ser geradas pelo inversor, como recebidas de outros equipamentos próximos e os aparelhos eletrônicos são comprovadamente os mais suscetíveis. O termo EMC (*Electromagnetic Compatibility*) define como os equipamentos trabalham juntos e EMI refere-se aos sinais destrutivos entre eles. A Compatibilidade Eletromagnética pode ser assegurada por um *layout* cuidadoso dos componentes, bom aterramento e utilização de superfícies aterradas, separação entre cabos de sinal e potência, uso de cabos blindados, filtros externos e filtros RFI internos.
- 9- Em caso de frenagem com alta inércia, a energia gerada pela carga deve ser dissipada ou por um freio mecânico (desabilitando o inversor), ou por um resistor de frenagem, impedindo que a energia que retorna ao inversor, através dos diodos de livre circulação, eleve a tensão do link DC, prevenindo

danos ao retificador ou aos capacitores. Atualmente, o que há de mais moderno em termos de frenagem é o inversor regenerativo. Este tem a capacidade de devolver para a rede toda a energia cinética contida no sistema, economizando-a.

#### 4.1.2. O CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

A maioria das instalações de controle de processo industrial envolve mais do que simplesmente regular uma variável controlada. A exigência da regulação significa que alguma variável tende a variar de modo contínuo por causa de influências externas. Mas há muitos processos na indústria em que não é uma variável que deve ser controlada, mas uma seqüência de eventos. Esta seqüência de eventos tipicamente leva à produção de algum produto composto de um conjunto de matéria- prima.

O termo “estado discreto” expressa que cada evento na seqüência pode ser descrito pela especificação da condição de todas as unidades de operação do processo. Tais descrições das condições são apresentadas com expressões como: válvula A está aberta, válvula B está fechada, esteira C está ligada, chave limite S<sub>1</sub> está ligada e assim por diante. Um conjunto particular de condições é descrito como um estado discreto de todo sistema.



Figura 11 - Família de controladores modulares SIEMENS Simatic S7

Neste trabalho, é examinada a natureza do controle do processo com estado discreto. Além da natureza deste controle, uma técnica especial para projetar e descrever a seqüência dos eventos de processo, chamada de diagrama SFC (pré-definição de uma linguagem tipo *ladder*), será apresentada. O diagrama *ladder* surgiu do antigo uso de relés eletromecânicos para controlar a seqüências de eventos em tais processos. Sistemas de controle com relés atualmente são realizados com métodos

baseados em computador, sendo que o mais comuns deles é o controlador lógico programável (CLP, Figura 11). As características e programação de CLP também são estudadas neste trabalho.

Segundo Ribeiro, objetivo de um sistema de controle de processo industrial é fabricar algum produto de matérias-primas de entrada. Tal processo tipicamente envolve muitas operações ou etapas. Algumas destas etapas devem ocorrer em série e algumas podem ocorrer em paralelo. Alguns destes eventos podem envolver o ajuste discreto dos estados na planta, ou seja, válvulas abertas ou fechadas, motores ligados ou desligados, contatos fechados ou abertos.

Outros eventos podem envolver regulação de alguma variável contínua no tempo ou a duração de um evento. Por exemplo, pode ser necessário manter a temperatura em algum valor ajustado durante determinado intervalo de tempo. O sistema de controle de processo a estado discreto é o sistema de controle principal para a operação da planta inteira. [4]

#### 4.1.3. REDES PROFIBUS E PROFINET

A sigla PROFIBUS é referente ao protocolo de controle para meio físico RS485 e que, por meio do princípio de controle de “TOKEN”, controla o tráfego entre os participantes (SLAVES) e o mestre (MASTER). Tempos especiais e ajustes podem ser alterados pelo usuário conforme necessidades particulares da aplicação.

Normalmente é feita a proteção dos sinais com aterramento *shield* (malha) nas duas extremidades e, para um comprimento máximo de 100 metros, pode-se chegar até a velocidade de 12Mbit/s, sem repetidor. Cabos maiores são amplamente utilizados, porém com uma velocidade de transmissão de dados reduzida.

Repetidores são elementos ativos que servem para interfacear segmentos em uma rede PROFIBUS e que asseguram níveis adequados de sinais, garantindo a integridade do sinal de comunicação. O repetidor possui a capacidade de evitar a deterioração do sinal em longas distâncias. Essencialmente, ele trabalha recebendo o sinal de um segmento de rede, "limpando" e amplificando este sinal, e transmitindo-o para outro segmento de rede. Desta forma, a mensagem original é mantida por todos os segmentos da rede. O repetidor executa esta função bi-direcionalmente. Além disso, serve para isolar galvanicamente os segmentos. [5]



Figura 12 - Exemplo de uma rede utilizando-se PROFINET [5]

PROFINET (Figura 12) é um padrão em Ethernet Industrial para Automação e utiliza padrões TCP/IP e IT. Segundo uma pesquisa realizada, esta rede industrial apresenta um crescimento médio anual de 37%. [5]

Esta tecnologia permite o uso de redes sem fio *wireless*, economizando cabos e facilitando a organização fabril, além de permitir acesso via *web* para diagnóstico remoto dos componentes. Os tempos de resposta de comunicação também são bem maiores que o padrão RS485, estendendo-se entre 100ms, geralmente utilizado em processamento de sinais, e 250µs, utilizado em posicionamentos com conversores de frequência, em que o tempo de resposta do equipamento deve ser instantâneo.

Por isso, este moderno protocolo de comunicação vem sendo amplamente utilizado em indústrias de ponta como as montadoras automobilísticas.

#### 4.1.4. **ENCODER**

Wilson, em [7], mostra uma definição interessante a respeito dos *encoders*:

“Tipo de transdutor de posição, capaz de converter movimentos lineares ou angulares em sinais elétricos, que podem ser transformados em informações binárias para que possam ser trabalhadas por um computador com o objetivo de configurá-las em variáveis do tipo distância, posição, etc.”

*Encoder* é um instrumento utilizado para operações em malha fechada, em que a velocidade deve ser rigorosamente controlada. Nos casos de elevação de carga, deve-se utilizar *encoder* nas aplicações que utilizem posicionamentos ou então que requerem um controle de torque preciso logo na partida. *Encoders* podem ser classificados quanto ao tipo: absolutos ou incrementais.



Os absolutos, Figura 13, possuem furos ao longo de vários anéis, que possibilitam um grande número de combinações que geram um código binário para cada posição do disco e o número de passos define a resolução. São subdivididos em “Singleturn”, em que é possível medir a posição absoluta em uma volta, e “Multiturn” em que, além da posição absoluta em uma volta é possível contar e transmitir o número de voltas.

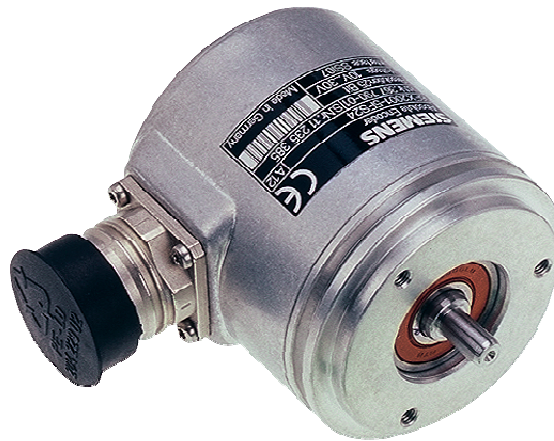


Figura 13 - Encoder absoluto

Já os incrementais podem trabalhar com a defasagem entre furos presentes em dois anéis no disco. A defasagem gerada pelos componentes ópticos permite que um sistema de processamento de sinais encontre a velocidade do disco e também o sentido de giro do mesmo. Os *encoders* incrementais modernos possuem um sinal chamado de “zero pulse”, este sinal é utilizado como referência para obtenção da posição absoluta. Neste caso o número de pulsos define a resolução.

Quanto à tensão de alimentação, podem ser divididos em: HTL, 10 a 30V, ou TTL, 5V.

A partir do que foi exposto é possível concluir que tanto em aplicações de controle de velocidade quanto de posição é possível utilizar os dois tipos de *encoder*. Todavia, ao utilizar um controle de posicionamento é preciso sempre referenciar o eixo caso o *encoder* seja incremental *zero pulse*.

#### 4.1.5. TALHAS E PONTES ROLANTES

Nassar classifica uma ponte rolante como sendo uma máquina de elevação do tipo guindaste de ponte e ainda afirma que os principais equipamentos que fazem parte das máquinas de elevação são os seguintes: guindaste, ponte rolante, elevador e guincho. No Brasil a norma da ABNT que rege o

projeto e a construção de máquinas de elevação é a NBR 8400 - Cálculo de Equipamentos para Elevação e Movimentação de Carga - de 1984. [8]

Tamasauskas, em [9], afirma que são necessários os seguintes dados técnicos para o desenvolvimento de um projeto de uma ponte rolante, vide Figura 15: objetivo do equipamento, classificação dos mecanismos e estruturas conforme a norma NBR 8400, tensão elétrica de alimentação, ambiente de trabalho, sistemas de controle de rotação dos motores elétricos, carga útil, tipo do controle de movimentos, dispositivo de fixação da carga, vão, altura de elevação, velocidades dos movimentos, comprimento do caminho de rolamento, disponibilidade física e dimensional do local de operação do equipamento e intermitência (%) e classe de partida para os motores elétricos, conforme a norma NBR 8400.



Figura 14 - Ponte Rolante (*crane*) transportadora de *container*, instalada em um porto.



Figura 15 - Aplicação de ponte rolante em uma usina siderúrgica

Na Figura 16, são apresentados os principais passos para dimensionar o inversor a ser utilizado conforme às características mecânicas, segundo a norma da ABNT NBR 8400: [8]

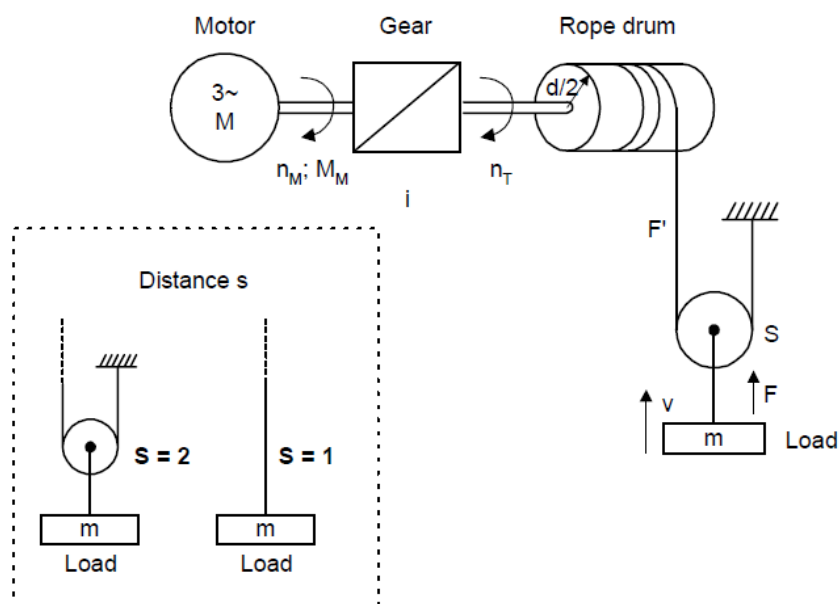


Figura 16 - Modelo Mecânico de uma Talha [10]

(a) Cálculo da Potência Nominal de Elevação ( $P_{nh}$ )

$$P_{nh} = \frac{(m \cdot g \cdot V_{elevação})}{\eta_{mecânico}}$$

(b) Cálculo da Velocidade do Eixo do Motor ( $n_M$ )

$$n_M = i \cdot n_T = \frac{(i \cdot S \cdot V_{elevação})}{\pi \cdot d_{mín}}$$

(c) Cálculo do Torque de Elevação Necessário ( $M_{nh}$ ) para velocidade constante:

$$M_{nh} = \frac{(m \cdot g \cdot d_{máx})}{(2 \cdot i \cdot S \cdot \eta)}$$

(d) Seleção do Motor

Máximo torque necessário:

$$M_{hmax} = 2 \cdot M_{nh}$$

O motor suporta o seguinte torque:

$$M_{maxm} = 0,77 \cdot M_k \cdot M_{nm}$$

(e) Cálculo da Corrente Máxima no Motor

Fator de sobrecarga:

$$m = \frac{M_{hmax}}{M_{nm}}$$

Corrente de Magnetização do Motor (A):

$$I_o = I_{nm} \cdot (1 - \cos\phi)^{1/2}$$

Corrente Ativa (A):

$$I_w = (I_{nm}^2 - I_o^2)^{1/2}$$

Corrente Máxima no Motor

$$I_{maxm} = [I_o^2 + (m \cdot I_w)^2]^{1/2}$$

(f) Dimensionamento do Conversor

$$I_{nfu} = \frac{I_{maxm}}{1,5}$$

#### 4.1.6. **CHOPPERS DE FRENAGEM**

A Tabela 1 apresenta os valores dos resistores que compõe uma aplicação de ponte rolante. Devido à alta inércia específica nestes sistemas, na frenagem, parte da energia retorna ao inversor, podendo causar danos ao mesmo. Para se evitar isto, utiliza-se um resistor que, por Efeito Joule, dissipa a energia excedente em forma de calor.

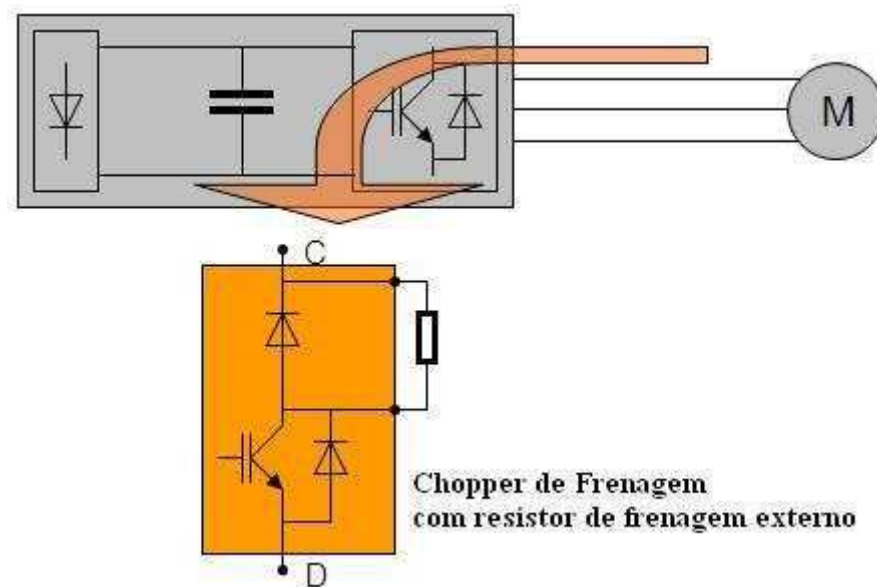
**Tabela 1- Tabela para seleção de resistor de frenagem [11]**

Supply voltage	Inverter frame size	Inverter power range (kW)	Calculated power rating <sup>1</sup>		Resistance +/-10% (Ohms) <sup>2</sup>	Braking current at voltage trip level (A) <sup>3</sup>	Recommended cable size <sup>4</sup> (mm <sup>2</sup> /AWG)	Voltage rating wrt Earth (Vrms) <sup>5</sup>	DC-voltage rating (V) <sup>6</sup>
			Contin. (W)	Instantan. (12s duration) (W)					
400V	A	0.37 – 1.5	86	1724	390	2.2	1.0/17	530	900
	B	2.2 – 3	210	4203	160	5.3	1.0/17	530	900
	B	4	210	4203	160	5.3	1.0/17	530	900
	C	5.5	600	12007	56	15.0	1.5/15	530	900
	C	7.5 / 11	600	12007	56	15.0	1.5/15	530	900
	D	15 – 22	1245	24904	27	31.1	6.0/9	530	900
	E	30 / 37	2241	44827	15	56.0	15/5	530	900
	F	45 - 75	4100	82000	8.2	102.4	35/2	530	900

Quando uma corrente elétrica atravessa um material condutor, há produção de calor. Essa produção de calor é devida ao trabalho realizado para transportar as cargas elétricas através do material em determinado tempo. [12]

Na tabela Tabela 1, estão dispostos os valores para uma tensão de entrada de 400 V em uma faixa de potência de 0,37kW a 75kW.

A seguir, na Figura 17, é mostrada a configuração do circuito do inversor com *Chopper* de Frenagem:

**Figura 17 - Circuito do Chopper**

## 5. METODOLOGIA

Neste capítulo, são abordados os testes reais, reproduzidos em uma indústria automobilística.

Todos os tópicos teóricos abordados anteriormente são utilizados como base para criação deste projeto.

### 5.1. MEMORIAL DESCRITIVO

O equipamento descrito a seguir pertence à linha de pintura de carrocerias de automóveis de uma importante indústria multinacional atuante no Brasil. Esta máquina deve operar da seguinte maneira:

Existem três possibilidades, ou andares, em que as carrocerias devem seguir. O primeiro andar consiste das carrocerias com defeitos de pintura. O segundo refere-se às carrocerias que estão aptas e irão seguir até a etapa de montagem. Por último, o terceiro andar serve de *buffer* ou pulmão da fábrica. Ou seja, caso seja necessário estocar algumas carrocerias aptas à montagem, estas devem ser direcionadas para o último andar.

Para implementar a lógica deste sistema são necessários oito sensores de fim de curso magnéticos e dois mecânicos que são conectados a uma unidade remota ET200. Esta unidade remota está conectada através de uma rede PROFINET e a um controlador de lógica programável S7-300, onde é efetuada toda a lógica de operação da máquina, através de blocos em *ladder*.

Na parte de acionamentos, tem-se um *Motor Starter*, que serve como uma trava de segurança quando o sistema permanece estático e um inversor SINAMICS G120D, que comanda as duas possíveis velocidades e o sentido de elevação da carga. Ambos os acionamentos estão inseridos na rede PROFINET e obedecem aos sinais vindos do PLC.

Nas saídas do PLC estão os comandos de rotação de cada motor e a referência de velocidade. No caso do *Motor Starter*, basta apenas a fonte de comando para acionar o motor. No caso do inversor, o PLC deve enviar os sinais de habilitação juntamente com a referência de frequência desejada. A primeira velocidade corresponde a 190rpm (aproximadamente 6,6Hz para o motor AC de quatro pólos) e a segunda velocidade de 1720rpm, ou 60Hz.

Dentro das três possibilidades de andares têm-se três modos de operação:

- Modo de Operação Automático/Pulmão

- Todas as carrocerias que não possuem defeitos devem seguir para o *buffer*, enquanto que as outras devem chegar ao primeiro andar, onde há peças com defeito.

- Modo de Operação Automático/Padrão

- As carrocerias são selecionadas, as conformes continuam o processo pelo segundo andar, para a linha de montagem, as não-conformes devem seguir para o primeiro andar.

- Modo de Operação Manual

- É possível operar a máquina manualmente através de dois botões chamados de “Subida em JOG” e “Descida em JOG” (movimentos cautelosos), porém sempre respeitando os limites e lógicas intertravados pelos sensores de final de curso mecânicos, colocados ao final do primeiro e terceiro andares.

Para selecionar cada modo, o operador precisa de algumas chaves ou botões, que são descritos a seguir:

- (a) Liga Máquina;
- (b) Desliga Máquina;
- (c) Emergência;
- (d) Seleciona modo de operação Automático ou Manual;
- (f) Seleciona modo Pulmão ou modo Padrão.
- (g) Subida em JOG
- (h) Descida em JOG

Sempre que a carroceria estiver próxima dos andares, esta deve estar se movendo em baixa velocidade. Somente no meio curso entre um andar e outro é que o sistema deve fornecer plena velocidade (vide Figura 18).



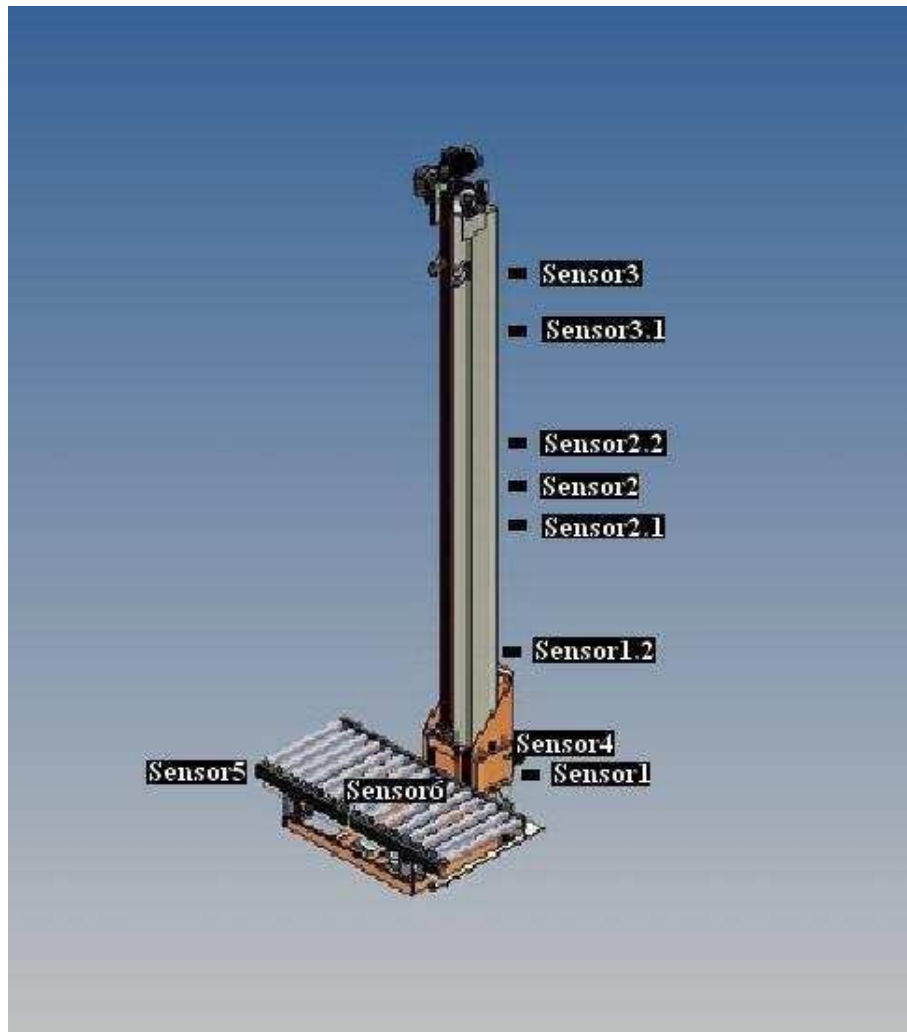


Figura 18 - Croqui mecânico do sistema automatizado [13]

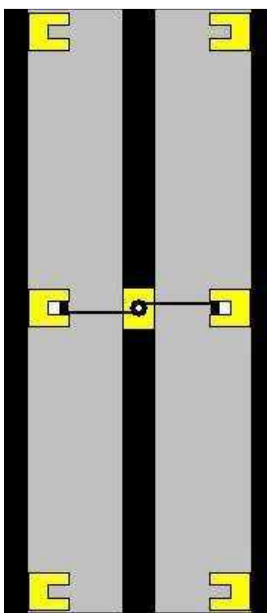
A seguir, na Tabela 2, podem-se observar os nomes dos sensores e suas determinadas funções:

Tabela 2 - Descrição dos sensores

sensor1	Fim de curso do primeiro andar
sensor1.2	Fim de curso do limite superior do primeiro andar
sensor2	Fim de curso do segundo andar
sensor2.1	Fim de curso do limite inferior do segundo andar
sensor2.2	Fim de curso do limite superior do segundo andar
sensor3	Fim de curso do terceiro andar
sensor3.1	Fim de curso do limite inferior do terceiro andar
sensor4	Fixação Efetivada
sensor5	Presença de peça com defeito
sensor6	Presença de carroceria no elevador

Por motivos de segurança, os sensores do primeiro (Sensor1) e último (Sensor3) andares devem ser acionados mecanicamente. É possível visualizar, na Figura 26, o tipo de sensor adotado. Os outros sensores são do tipo indutivo, vide Figura 25.

A Figura 19 mostra o funcionamento do fixador mecânico utilizado como um dispositivo de segurança durante a parada do elevador nos diversos andares de operação:



**Figura 19 - Croqui da fixação do elevador**

No instante do início da movimentação do elevador, o fixador recolhe-se através de um movimento anti-horário do motor. Quando o produto chega ao andar requisitado, o motor inverte seu sentido de giro, agora horário, para movimentar o fixador para dentro dos encaixes. No momento do encaixe do fixador, os freios mecânicos no eixo do motor de elevação e no eixo do motor de fixação são atuados, garantindo dupla proteção contra possíveis quedas.

## 5.2. MATERIAIS

### 5.2.1. INVERSOR DE FREQUÊNCIA SINAMICS G120D

Esta família de conversores, Figura 20, é utilizada amplamente em sistemas de elevação de carga, possuindo um grau de proteção IP67, ideal para linhas de montagem da indústria automobilística.

Estes módulos de potência possuem uma tecnologia única capaz de regenerar a energia de volta ao sistema de alimentação, evitando o resistor de frenagem.

Além de economizar energia, o sistema permite ser usado em áreas classificadas onde há risco de incêndio.



Figura 20 - Inversor SIEMENS, SINAMICS G120D

Esta unidade de controle possui seis entradas e duas saídas digitais, além de possuir interface para comunicação PROFINET e para sinal de *encoder*.

Possui também interface óptica para comunicação com um computador e leitor de cartão SD.

### 5.2.2. UNIDADE REMOTA ET200S

Unidade remota utilizada para receber os sinais dos sensores e integrá-los à comunicação PROFINET entre PLC e Inversor. Também possui uma comunicação PROFINET utilizada para enviar ao CLP todos os estados das entradas (sensores).

Utiliza-se um *motor starter*, acoplado à unidade remota ET200S, com função de reversão, para acionar o motor da trava de segurança presente nos três andares da aplicação. Este equipamento também pode ser conectado à rede industrial PROFINET.



Figura 21 - Unidade remota para leitura dos sensores de posição

### 5.2.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL S7-300

O CLP apresenta as lógicas de controle automático de movimentação do elevador, assim como o acionamento da trava de segurança. Na lógica de velocidade utilizam-se os sinais vindos dos diversos sensores presentes na conexão remota ET200S. A comunicação entre os periféricos ocorre através da interface padrão PROFINET. Os sinais de *setpoint* de frequência e comando são enviados para o inversor através de palavras de controle (*words*). Ao conjunto de palavras de controle dá-se o nome de telegrama.



Figura 22 - PLC S7 300 com conexão PROFINET

#### 5.2.4. MOTOR DE ELEVAÇÃO

Na Figura 23, é possível observar-se os dados de placa do motor da marca SEW. Estes dados são importantes no dimensionamento do sistema, como: diâmetro de cabos, potência do inversor e dimensionamento das proteções.



Figura 23 - Dados de placa do motor de elevação

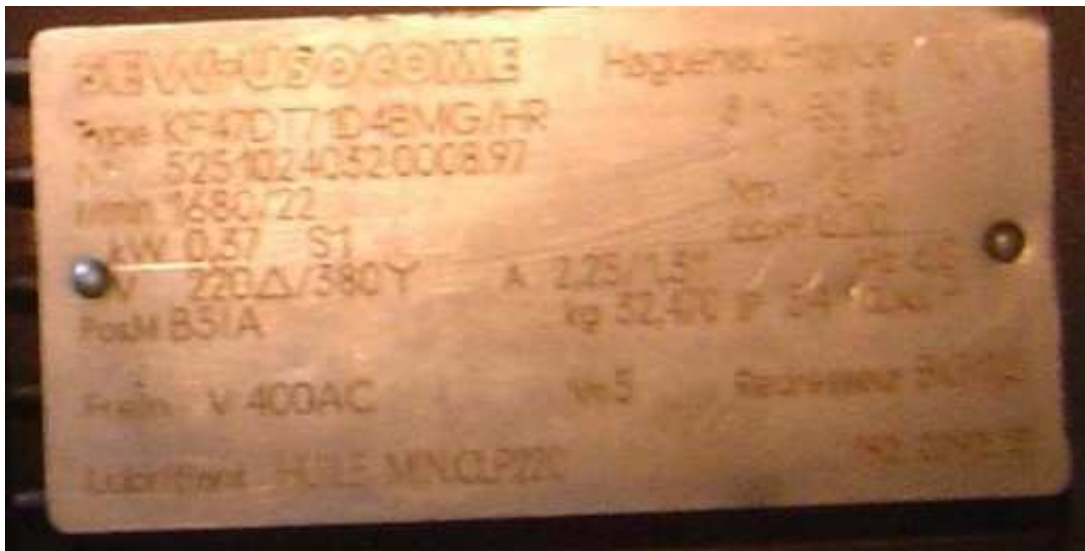
Estes dados são inseridos no inversor em forma de parâmetros através do comissionamento rápido. Este tipo de instrução gera um macro no inversor que ajusta os limites de torque, temperatura, tensão de saída e velocidade, automaticamente. Os dados que o inversor necessita encontram-se na Tabela 3:

**Tabela 3 - Dados de Placa do Motor de Elevação**

Dados de Placa do Motor de Elevação		
Sigla	Valor	Unidade
U	380	Volts ( $\Delta$ )
I	9,2	A
n	1720	RPM
P	4	kW
$\cos\phi$	0,84	
f	60	Hz

### 5.2.5. MOTOR DE FIXAÇÃO

Os dados do motor de fixação encontram-se na Tabela 4. Este motor é acionado através de uma partida reversível (*motor starter*), pois não apresenta potência e corrente de partida elevadas. Portanto, não é necessário utilizar seus valores na parametrização, porém, deve-se atentar às dimensões dos cabos e proteções.

**Figura 24 - Dados de placa do motor de fixação**

**Tabela 4 - Dados de Placa do Motor de Fixação**

Dados de Placa do Motor de Fixação		
Sigla	Valor	Unidade
U	380	Volts (Y)
I	1,51	A
n	1680	RPM
P	0,37	kW
cos $\phi$	0,76	
f	60	Hz

#### 5.2.6. SENSORES DE FIM DE CURSO

Estes sensores acionados através da indução eletromagnética detectam apenas metais (material que é utilizado na estrutura do elevador) são utilizados no percurso do elevador entre andares. Os oito sensores utilizados neste sistema são conectados às entradas digitais da unidade remota ET200S. Na configuração de *hardware*, o CLP consegue obter o estado destes sensores graças à comunicação PROFINET entre eles.



**Figura 25 - Sensor de fim de curso magnético**

Os sensores de fim de curso mecânico, como o próprio nome diz, são acionados através de contatos físicos entre os materiais que constituem o elevador. Estes dois sensores são utilizados

somente nas extremidades da linha de elevação e garantem uma parada segura em caso de falhas do sistema.

A unidade remota ET200S também recebe os estados lógicos destes componentes e os envia através do protocolo TCP/IP, via PROFINET. Este sistema é extremamente eficaz, pois a própria rede cria diagnósticos de falha caso a leitura de um destes dez sensores não seja concluída.



**Figura 26 - Sensores de fim de curso mecânico**

### **5.2.7. BOTOEIRAS**

São botões operados por usuários. Estes equipamentos são ligados às entradas digitais do controlador lógico e possuem funções variadas no sistema.

Abaixo se encontram alguns que são utilizados nesta solução.





**Figura 27 - Botão liga-desliga**

A botoeira habilita ou desabilita a operação do CLP e chaveia a alimentação das entradas 24VDC de comando do sistema. Um conjunto de botões similar é utilizado para as operações em modo JOG.



**Figura 28 - Botão de emergência**

O botão de emergência é essencial em qualquer sistema industrial seguro. Os sinais deste botão habilitam os 24VDC nas alimentações do cartão de saída do CLP e na entrada digital 0 do inversor. Este deve estar instalado em um lugar seguro e de fácil acesso para ser acionado pelo

operador. As ações deste botão permitem uma parada instantânea do sistema de elevação, pois quando é acionado, o sinal 24VDC passa para 0VDC, desligando o cartão de saída do CLP, o “Motor Starter” e a entrada digital do inversor, previamente parametrizada para operar como emergência.

Como consequência desta operação, os comandos dos freios mecânicos dos motores de elevação e fixação (alimentados com 220VAC, mas acionados pelos 24VDC, quando em operação) são desarmados fazendo os freios retornarem à posição de travamento.



Figura 29 - Chave seletora de modos de operação automático/manual - padrão/pulmão

O sistema está munido de duas chaves para a escolha entre os modos Automático e Manual e para os modos Padrão e Pulmão. Estas chaves seletoras são ligadas aos terminais de entrada do CLP e são operadas pelo usuário..

#### 5.2.8. CAMERAS DE DETECÇÃO DE DEFEITO

Estes equipamentos são interpretados por *softwares* específicos de detecção de defeitos de pinturas, amassados e outros tipos de possíveis avarias que a peça possa sofrer durante o seu processo de fabricação. Para a lógica deste sistema, apenas uma *flag* será acionado caso o produto esteja com defeito, fazendo o elevador descer até o primeiro andar.

### 5.2.9. CONTADORES, RELÉS E DISJUNTORES

Os relés de sobrecarga atuam na proteção, evitando uma corrente acima da nominal do motor por tempo prolongado. É possível também detectar falta de fase do sistema.



Figura 30 - Relé de Sobrecarga



Figura 31 - Disjuntores Motor



Figura 32 – Contatores

Estes contatores são utilizados no acionamento do freio eletro-mecânico e são comandados pelas saídas do inversor de frequência e pelo *Motor Starter*.

### 5.3. LÓGICA DE OPERAÇÃO

Neste subtítulo é abordada a lógica de controle de velocidade do elevador, telegramas de comunicação, endereços de rede e *softwares* utilizados.

#### 5.3.1. ENDEREÇOS DE REDE

Todo equipamento ligado a uma rede industrial possui um endereço de rede. Este endereço é reconhecido pelo mestre (CLP) e assim a comunicação ocorre. No caso de uma rede PROFINET, cujo protocolo é o TCP/IP, todo equipamento deve ter seu próprio endereço IP. Na Figura 33, pode-se observar um esquemático de interligação da rede PROFINET (cabos verdes padronizados). Sendo o CLP um “mestre”, o Inversor e Unidade Remota “escravos”.

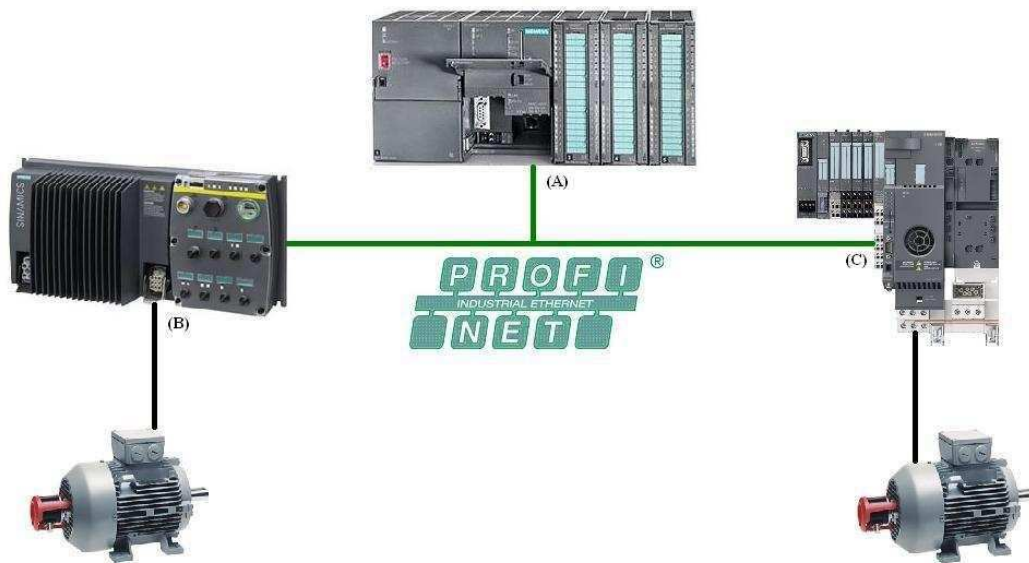


Figura 33 - Interligações de rede entre equipamentos utilizados na estação de elevação

### 5.3.2. TELEGRAMAS DE COMUNICAÇÃO

Para que o inversor seja acionado através dos comandos do CLP, via rede industrial, é necessário adotar um conjunto de *words* (palavras de 16 *bits*) que são enviadas pelo mestre (controlador lógico). Estes *bits* podem significar vários tipos de comandos, porém, para este trabalho, serão utilizadas as palavras de controle I (*Control Word I*) e a palavra de frequência. Assim como o CLP envia uma *word* o inversor também envia uma palavra de *status* para o inversor, chamado de *Status Word I*. Através desta palavra de *status* é possível obter os estados de operação do inversor.

A palavra de frequência é especificada utilizando-se uma escala hexadecimal que vai de 0H até 4000H (16384 em decimal), significando 0 a 100%. Caso o inversor esteja parametrizado com a frequência máxima em 60Hz, ao enviar 4000H, o inversor entenderá como 100% da máxima velocidade permitida. O inversor também envia, através de uma palavra, qual a frequência de operação atual, permitindo programar lógicas de sobre-velocidade no inversor.

A parametrização completa do inversor desta aplicação está disponível nas folhas em anexo.

A seguir, são mostradas as palavras de controle I, na Tabela 5 e palavra de estado, na Tabela 6:

**Tabela 5 - Tabela dos Bits de Controle [3]**

CONTROL WORD I (STW1)	
BIT	SIGNAL NAME
0	ON/OFF1
1	OC/OFF2
2	ON/OFF3
3	ENABLE OPERATION
4	ENABLE THE RAMP FUNCTION GENERATOR
5	START RAMP FUNCTION GENERATOR
6	ENABLE SPEED SETPOINT
7	ACKNOWLEDGE FAULT
8	JOG BIT 0
9	JOG BIT 1
10	MASTER CONTROL BY PLC
11	REVERSE SPEED SETPOINT

Assim, para que o inversor possa ser liberado para operação, a palavra de controle deve ter o valor 047EH. Ao passar para 047FH o motor entra em operação na frequência determinada pela segunda palavra, por exemplo, 2000H, ou seja, 50% da frequência máxima.

Caso seja necessário, pode-se alterar o sentido de rotação do motor utilizando-se o *BIT* 11. Assim, a nova palavra de controle será 0C7EH para habilitar o inversor em modo reverso e 0C7FH para entrar em operação.

É importante notar que estes números hexadecimais devem ser escritos em endereços de memória pré-estabelecidos na configuração de *hardware* do CLP.

**Tabela 6 - Palavra de Estado do Inversor [3]**

STATUS WORD I (ZSW1)	
BIT	SIGNAL NAME
0	READY TO POWER UP
1	READY
2	OPERATION ENABLED
3	JOG ACTIVE
4	NO COASTING ACTIVE
5	NO QUICK STOP ACTIVE
6	POWER-ON INHIBIT ACTIVE
7	DRIVE READY
8	CONTROLLER ENABLED
9	CONTROL REQUESTED
11	PULSES ENABLED
12	HOLDING BREAK OPEN
13	COMMAND CLOSE HOLDING BRAKE
14	PULSE ENABLE FROM THE BRAKE CONTROL
15	SETPOINT ENABLE FROM THE BRAKE CONTROL

### 5.3.3. **SOFTWARES**

Nesta aplicação são utilizados dois *softwares* SIEMENS.

1- SIMATIC MANAGER®

2- STARTER®

O SIMATIC MANAGER®, Figura 34, gerencia todas as configurações do CLP e das redes. É nele que são feitas as lógicas de operação da máquina. Na figura abaixo é possível observar o ambiente de criação de uma rede industrial, onde os escravos estão conectados. Na parte inferior têm-se os espaços de memória reservado para cada endereço da rede, ou seja, para cada componente.

No caso da unidade remota ET200S, os endereços apresentados referem-se às entradas e saídas e é possível programar uma lógica utilizando-as em um diagrama do tipo *ladder*.

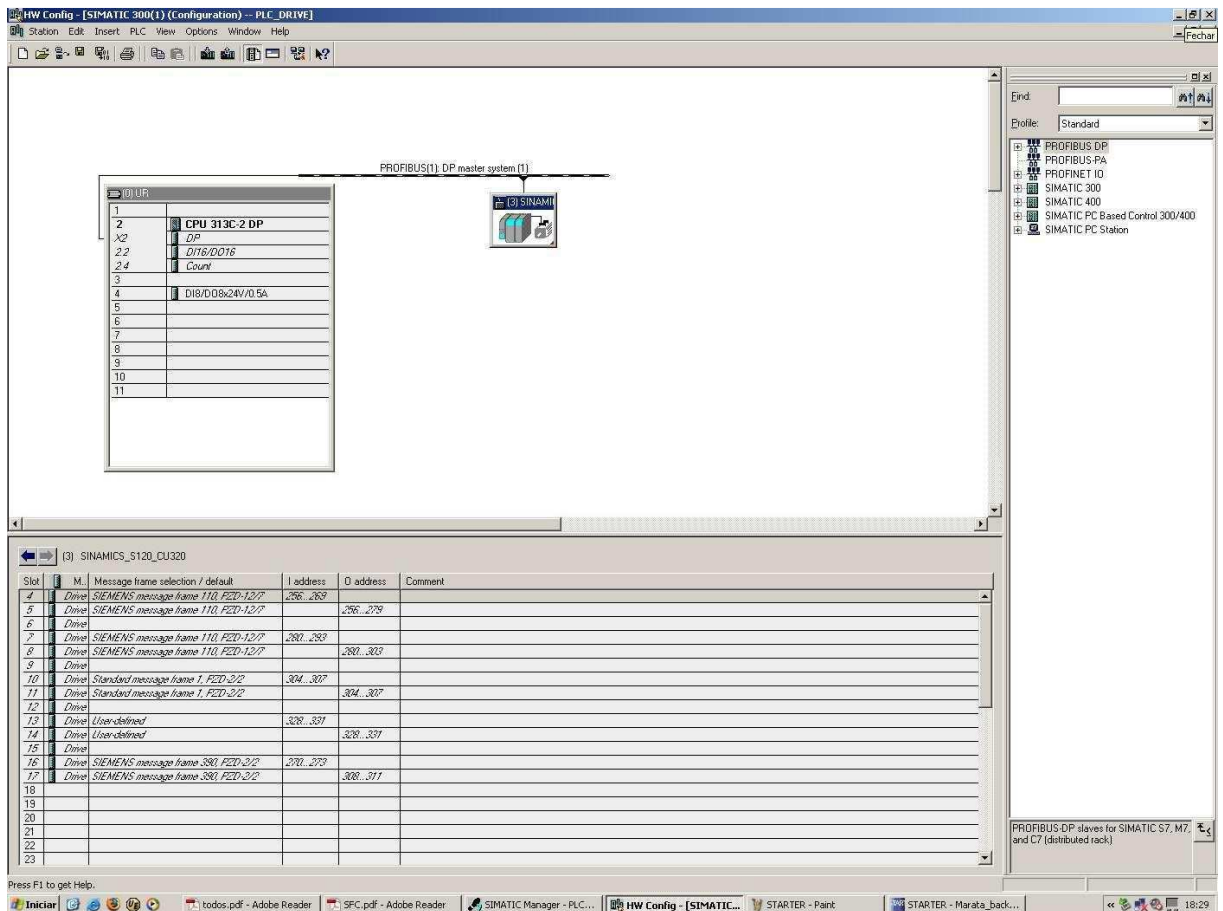


Figura 34 - Ambiente de Trabalho SIMATIC MANAGER

O STARTER<sup>®</sup> é um *software* específico da área de inversores de frequência. Nele é possível parametrizar o inversor de acordo com a aplicação desejada (vide Figura 35). Os parâmetros estão disponíveis em uma lista chamada de *Expert List*.

Na *Expert List* são inseridos os dados de placa do motor, frequências máximas e mínimas de operação, tipo de aplicação, lógicas I/O, lógicas de controle de velocidade, lógicas binárias e muitos outros ajustes e otimizações, como a Auto-Ajuste, ou *Auto-Tuning*.

O auto-ajuste serve para medir os valores reais das variáveis do modelo do motor para poder controlá-lo de uma forma satisfatória. Durante esta operação, o inversor aplica vários degraus de corrente e tensão elétrica nos enrolamentos do motor, medindo, entre outras variáveis, as resistências do estator e do rotor, tempos de magnetização, indutâncias do rotor e estator.

Este tipo de ajuste torna-se importante em situações onde os controles de torque e velocidade devem ser precisos, por exemplo, na partida de estações elevatórias com grande carga. A alta inércia do sistema solicita uma corrente acima da nominal durante um curto intervalo de tempo até que a massa comece a ser transportada.



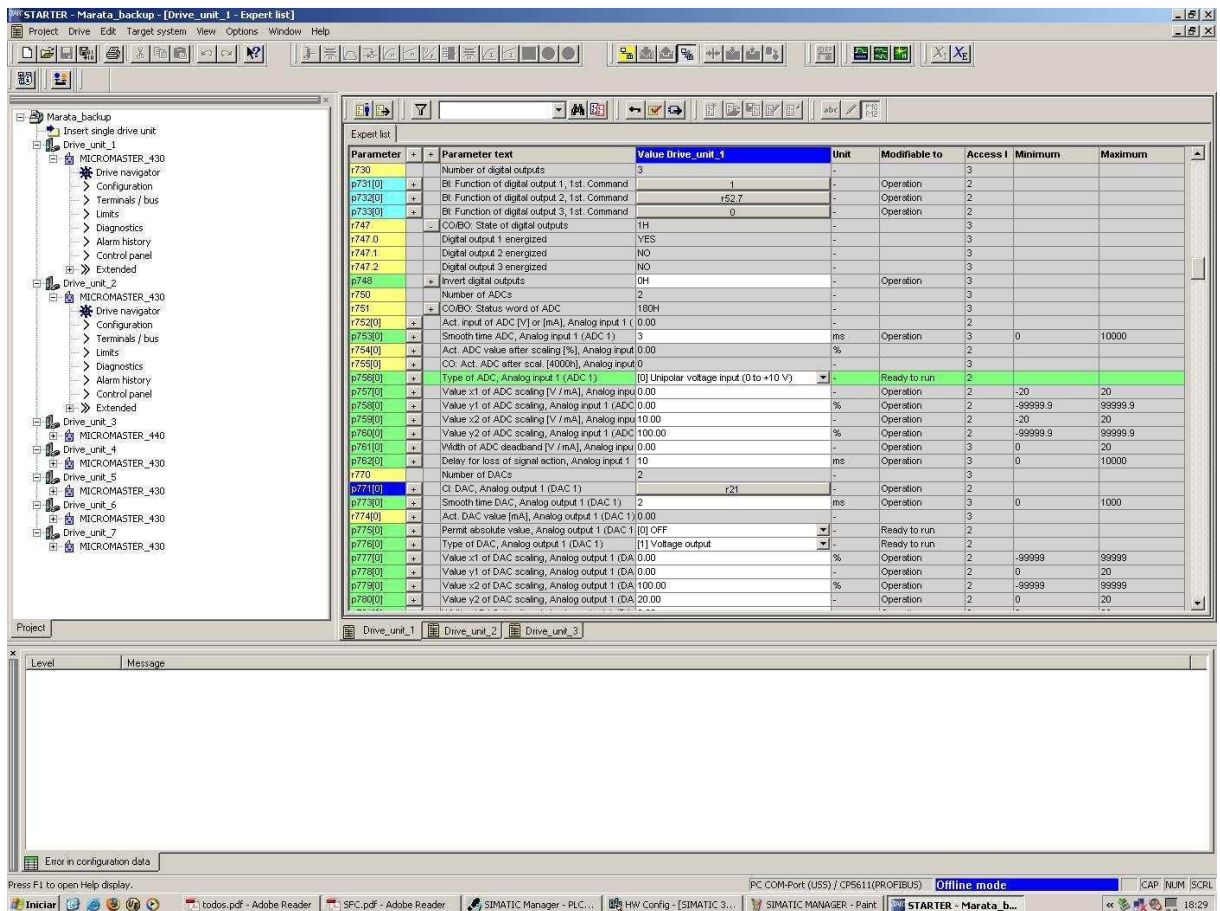


Figura 35 - Ambiente de trabalho do STARTER

### 5.3.4. CONTROLE DE VELOCIDADE DO ELEVADOR

Como foi visto anteriormente, o elevador necessita de uma lógica de dupla velocidade. Uma nas partidas e paradas e outra no decorrer do percurso. Estimou-se que nas partidas e paradas a velocidade ideal de rotação do motor fosse de aproximadamente 190rpm. Durante o percurso normal a velocidade seria a nominal, 1720rpm.

Com os sensores é possível executar uma lógica que forneça o que a aplicação exige. Para isto, é utilizado um bloco especial, de uso SIEMENS, para estações elevatórias de duas velocidades e até quatro andares, nas fábricas da Volkswagen®.

Este bloco está disponível no APÊNDICE, ao final deste trabalho.

## 5.4. RESULTADOS

Neste capítulo são mostrados os resultados de toda a elaboração do projeto. Pode-se observar na Figura 36, as ligações elétricas entre o inversor de frequência SINAMICS G120D acima, CLP S7-300 ao centro e a unidade remota ET200S abaixo, juntamente com o *Motor Starter* à direita.



Figura 36 - Ligação elétrica em campo

Os primeiros testes são feitos somente com a massa do elevador, sem carga, observando-se que o nível de corrente do motor não está acima do esperado. A lógica dos freios eletro-mecânicos foi testada antes mesmo de o equipamento começar a movimentar-se, evitando possíveis quedas.

Com todos os testes feitos e a corrente abaixo do limite, foi possível acompanhar a elevação da carroceria sempre em operação manual (JOG), pois a linha ainda não estava pronta para um teste automático, mesmo o *software* permitindo tal operação. Na Figura 37 é possível notar a carroceria, ainda no segundo andar, local onde as peças adentram o elevador, prontas para serem transportadas.



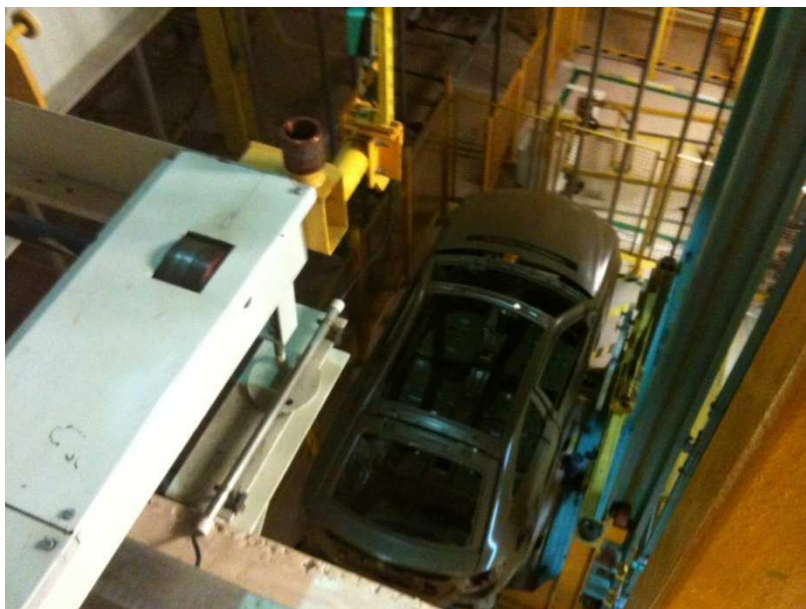
**Figura 37 - Carroceria pronta para ser elevada**

Na Figura 38, nota-se o elevador pára no terceiro andar, significando que a peça será armazenada no “pulmão”, servindo de reserva para possível aumento na demanda.



**Figura 38 - Carroceria transportada para o terceiro andar**

É possível observar, na Figura 39, o primeiro andar, onde as carrocerias reprovadas no controle de qualidade são armazenadas para reparos ou descartes. Todas as lógicas dos sensores e da dupla velocidade funcionaram durante todos os transportes realizados.



**Figura 39 - Carroceria sendo transportada para o primeiro andar**

O sistema de fixação é mostrado na Figura 40, onde as duas barras de ferro escoram nos suportes, permitindo um transporte seguro das peças.

Nestes momentos de parada, tanto o comando do freio eletro-mecânico do motor de elevação e do motor de fixação apresentam estado 0 (zero volts), indicando que, caso ocorra uma queda de energia na fábrica, o equipamento garante uma parada segura. Somente durante o movimento do elevador que ficam presentes os 24 volts necessários para ativar os contadores e energizar a bobina dos freios eletro-mecânicos.

Durante a movimentação, caso ocorra uma falha de comunicação entre inversor, ET200S e CLP, todo o sistema automatizado entra em falha e executa uma parada segura. Este somente entrará em ciclo caso seja desligado e ligado novamente.

A fixação ocorre quando o motor gira no sentido horário. Quando o sensor de fixação percebe a mudança de estado para nível “1”, através da ET200S, o CLP executa o desligamento do motor através do inversor de frequência. Caso um novo acionamento seja necessário, o motor de fixação gira no sentido anti-horário, até que o nível do sensor volte para zero e o motor pare de girar.

Na Figura 41, a carroceria está movimentando-se até o terceiro andar. As rampas de aceleração e desaceleração do inversor foram ajustadas para permitir uma elevação sem escorregamentos, porém com tempos não muito longos para aperfeiçoar o ciclo entre uma peça e outra.



Figura 40 - Vista do sistema de fixação de segurança do elevador



Figura 41 - Carroceria durante o transporte entre os andares 2 e 3

## 6. DISCUSSÕES

Com os resultados, pode-se analisar toda a aplicação e concluir que foi um sucesso, com o objetivo final atingido.

Utilizando-se todos os *softwares* disponíveis, foi possível obter dados importantes para verificação do perfeito funcionamento do equipamento.

Primeiramente, todas as correntes estavam dentro do esperado, ou seja, abaixo da máxima permitida para cada motor. Os tempos de abertura e fechamento dos freios também foram medidos e não foi constatada nenhuma irregularidade quanto a escorregamentos da carga nem de solavancos na parte mecânica.

Todos os medidores de temperatura internos aos equipamentos demonstraram-se estáveis, dentro da normalidade de trabalho.

O último teste exigido pelo cliente foi o da parada de emergência, seguindo dois casos extremos, em carga máxima (uma tonelada): desligamento do sistema por queda de tensão e parada brusca por irregularidade. Na queda de tensão todos os equipamentos foram desligados e instantaneamente os freios de segurança atuaram da maneira correta, travando os rotores do motor de fixação e do motor de elevação. Na parada brusca, o inversor executou uma rampa de descida de um segundo até a parada total do elevador e o posterior travamento, provando que o sistema é de altíssima confiabilidade.

As lógicas de dupla velocidade funcionaram como o esperado, por meio do sistema de sensores e pelo bloco exposto no apêndice.

Para comprovar o experimento, um vídeo foi gravado e assim a aplicação pode ser catalogada pelo cliente como uma ótima opção de compra.

## **7. CONCLUSÕES**

Concentraram-se esforços para realizar o estudo e projeto em sistemas de elevação de carga o qual se utilizou o que há de mais moderno no mercado em termos de controle e automação de máquinas de produção que utilizam controladores, inversores e sensores para aumento da produtividade, qualidade e segurança de utilização. Todos os equipamentos adotados foram selecionados conforme o conceito de automação totalmente integrada e com os mais rigorosos padrões de segurança para este tipo de aplicação.

Todos os conceitos abordados podem ser aplicados em qualquer indústria que necessite de elevação de cargas de pequeno, médio ou grande porte, em sistemas que utilizem apenas uma redução, polias e correias para acoplar o motor assíncrono ao sistema mecânico.

Em particular, a aplicação abordada teve o intuito de unir conhecimentos básicos e avançados em elevação de cargas juntamente com a automatização do processo, gerando eficiência no transporte e na estocagem do produto.

Diante do que foi exposto, uma grande quantidade de conhecimentos obtidos ao longo do curso de engenharia elétrica foram colocados em prática. Primeiramente, com os equipamentos básicos como sensores, botões e motores, passando para controladores tecnológicos, programadores e redes de comunicação altamente eficientes. E finalmente com a utilização de teorias abordadas em aula como de eletrônica de potência, controle, automação industrial, instrumentação eletrônica, redes, máquinas elétricas, sistemas digitais, instalações elétricas e gerenciamento de projetos, sedimentando os conceitos do aluno de maneira abrangente nesta grande área industrial.

Para trabalhos futuros, seria interessante a utilização de inversores com malhas de posicionamento para que não fosse mais necessária a utilização de muitos sensores ao longo do elevador, com a utilização de motores síncronos de ímã permanente.

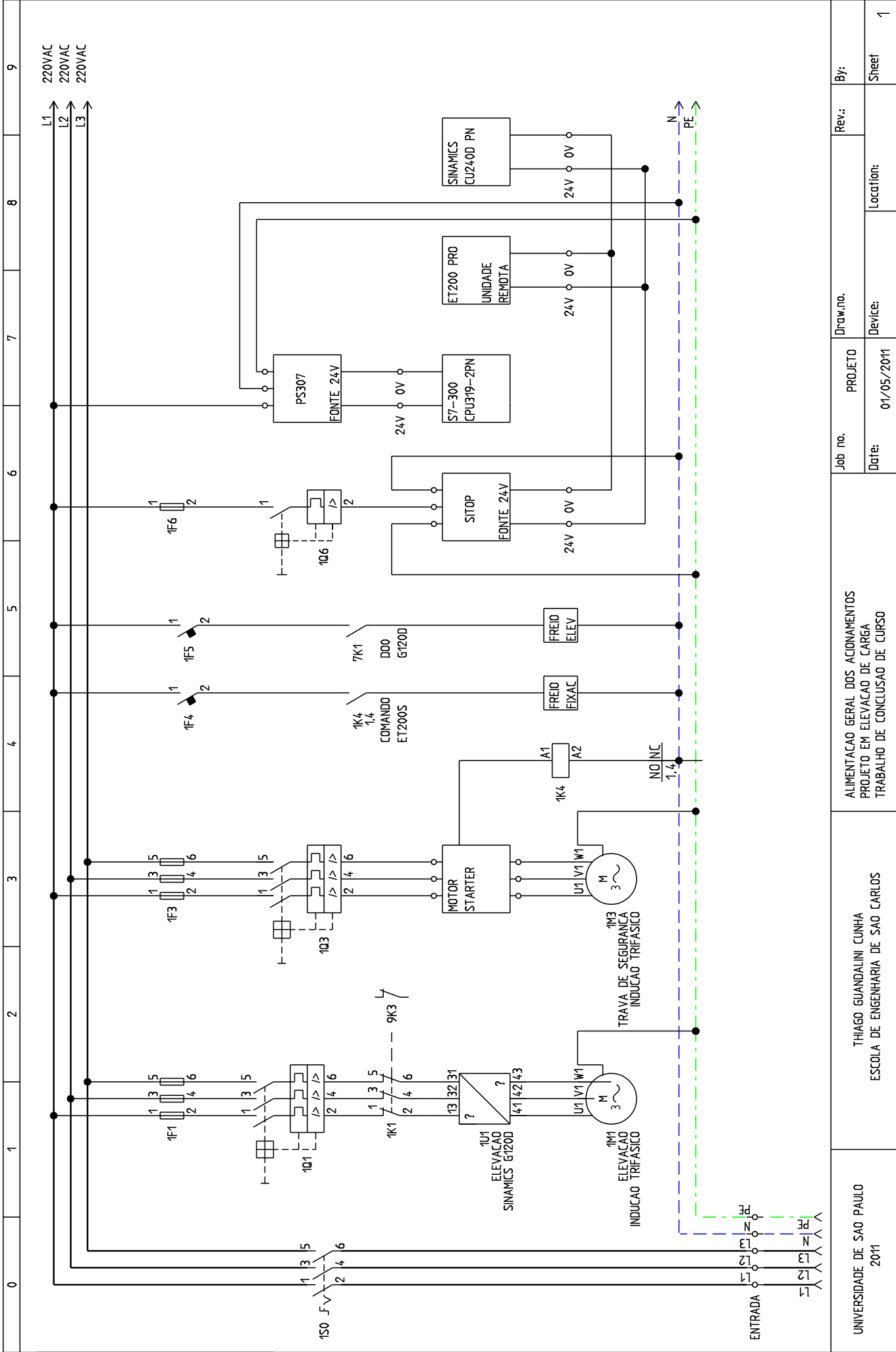
## 8. REFERÊNCIAS

1. **Rosário, João Maurício.** *Automação Industrial*. São Paulo : Editora Baraúna SE Ltda., 2009.
2. **Pomílio, José Antenor.** *Eletrônica de Potência*. Campinas : FEEC , 1998.
3. **SIEMENS.** SINAMICS G List Manual. 2007.
4. **Ribeiro, Marco Antônio.** *Aplicações de Automação*. Salvador : TEK Treinamento & Consultoria Ltda., 2003.
5. **PROFIBUS, Associação.** PROFINEWS. [Online] [Citado em: 05 de Janeiro de 2011.] <http://www.profibus.org.br/news/junho2007/news.php?dentro=1>.
6. **Siemens.** *Pesquisa Industry Sector*. 2009.
7. **Nassar, Wilson Roberto.** *Máquinas de Elevação e Transportes*. Santos : Universidade Santa Cecília.
8. **ABNT.** *Cálculo de Equipamento para levantamento e movimentação de cargas*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. NBR8400.
9. **Tamasauskas, Arthur.** *Metodologia do Projeto Básico de Equipamentos de Manuseio e Transporte de Cargas - Ponte Rolante - Aplicação não-Siderúrgica*. São Paulo : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
10. **Schmittele, M. e Bader, A.** *MM440 Hoist and Cranes*. s.l. : SIEMENS, 2005.
11. **Habold.** *Braking Chopper Application*. s.l. : SIEMENS, Maio de 2005.
12. **Wikipedia.** [Online] [Citado em: 05 de Janeiro de 2011.] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).
13. **GOOGLE.** [Online] [Citado em: 05 de Janeiro de 2011.] [www.google.com](http://www.google.com).

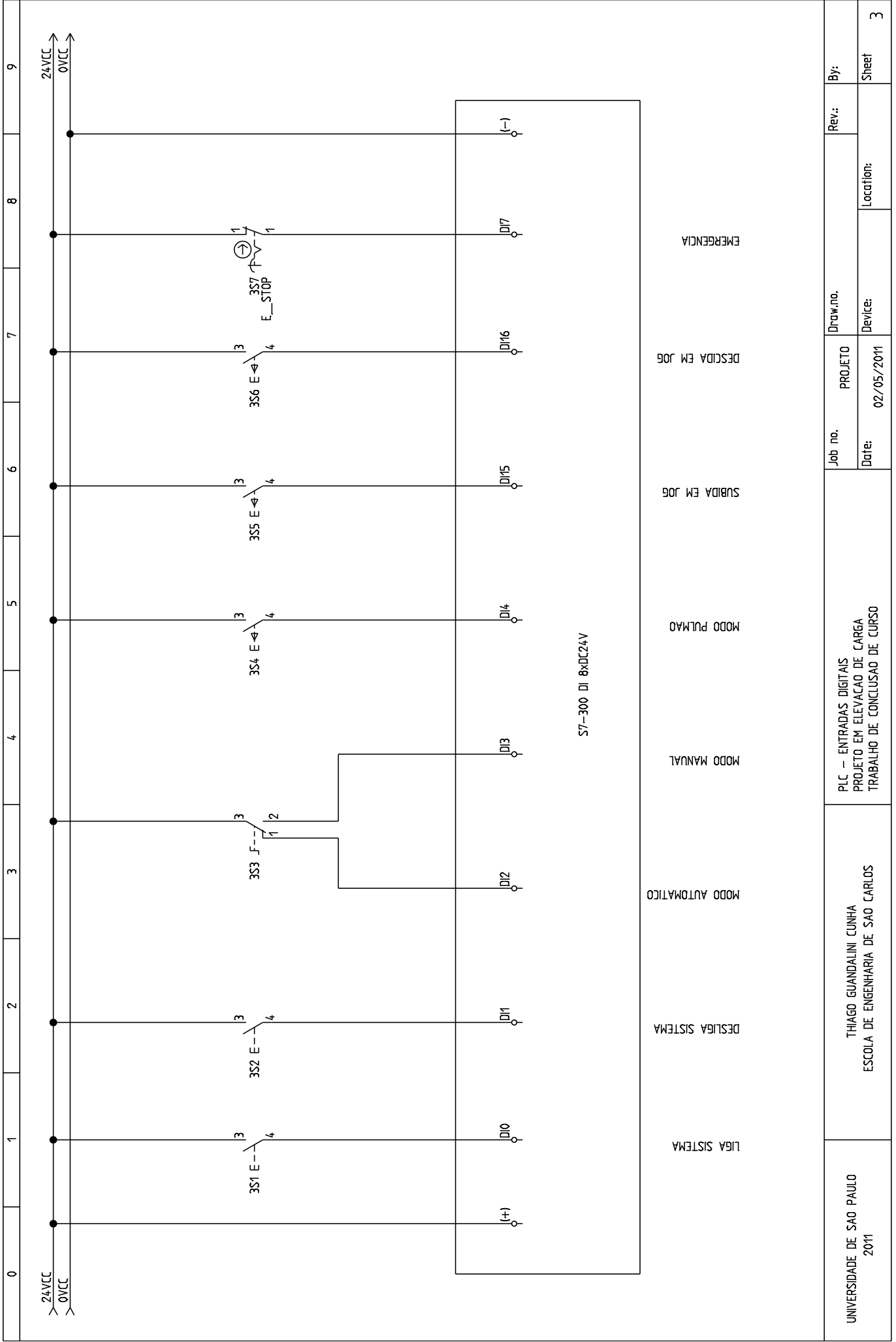


## **9. APÊNDICE**

### **9.1. APÊNDICE A – DIAGRAMAS ELÉTRICOS**







0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

24VCC  
0VCC

351 E

352 E

353 F

354 E

355 E

356 E

357 F

E\_STOP

DI0

DI1

DI2

DI3

DI4

DI5

DI6

DI7

(+)

(-)

S7-300 DI 8xDC24V

LIGA SISTEMA

DESLIGA SISTEMA

MODULO AUTOMATICO

MODULO MANUAL

MODULO PULMAO

SUBIDA EM JOGO

DESCIDA EM JOGO

EMERGENCIA

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO  
2011

THIAGO GUANDALINI CUNHA  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS

PLC - ENTRADAS DIGITAIS  
PROJETO EM ELEVAÇÃO DE CARGA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

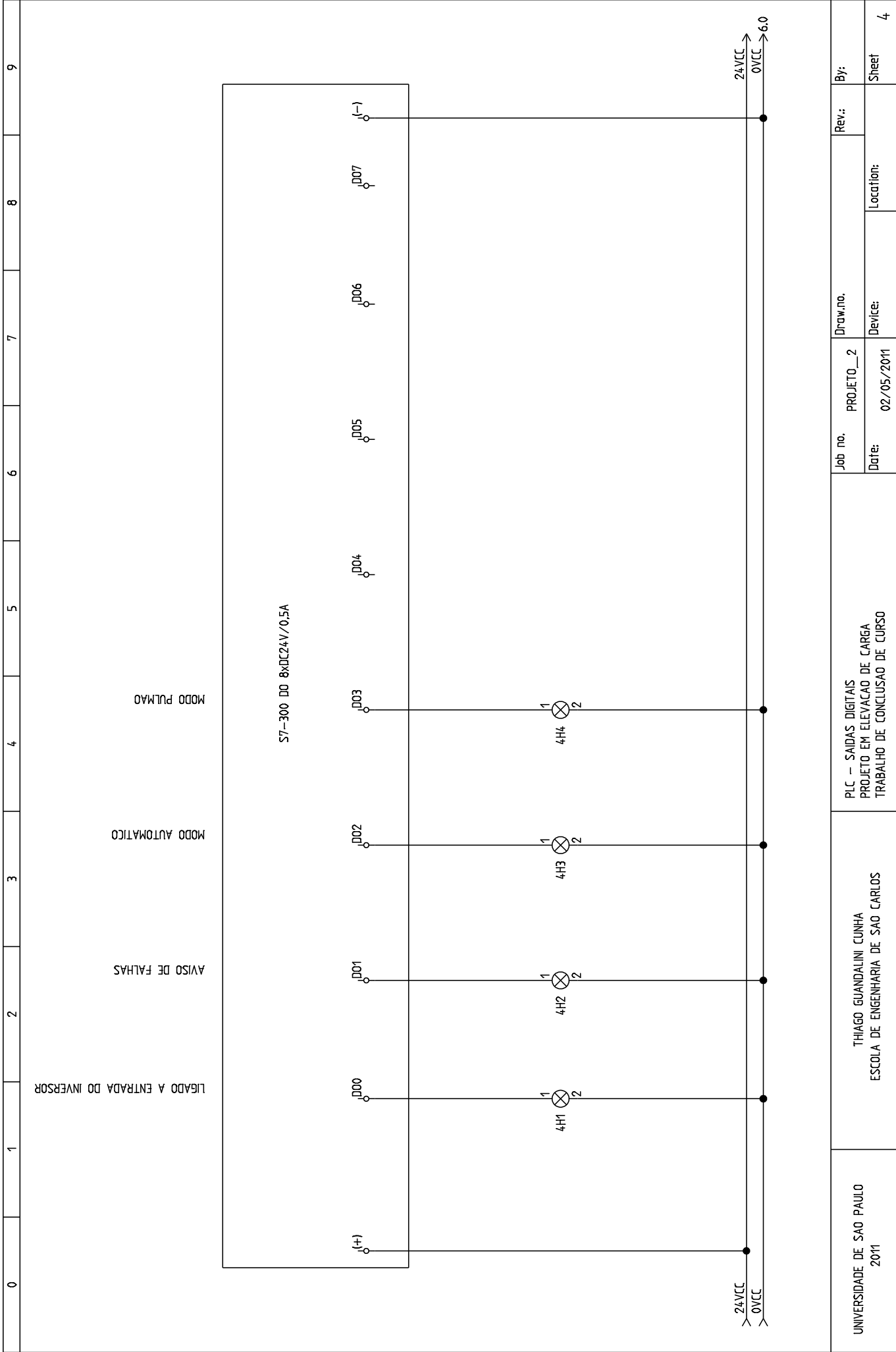
Job no.  
Date:

PROJETO  
Date:

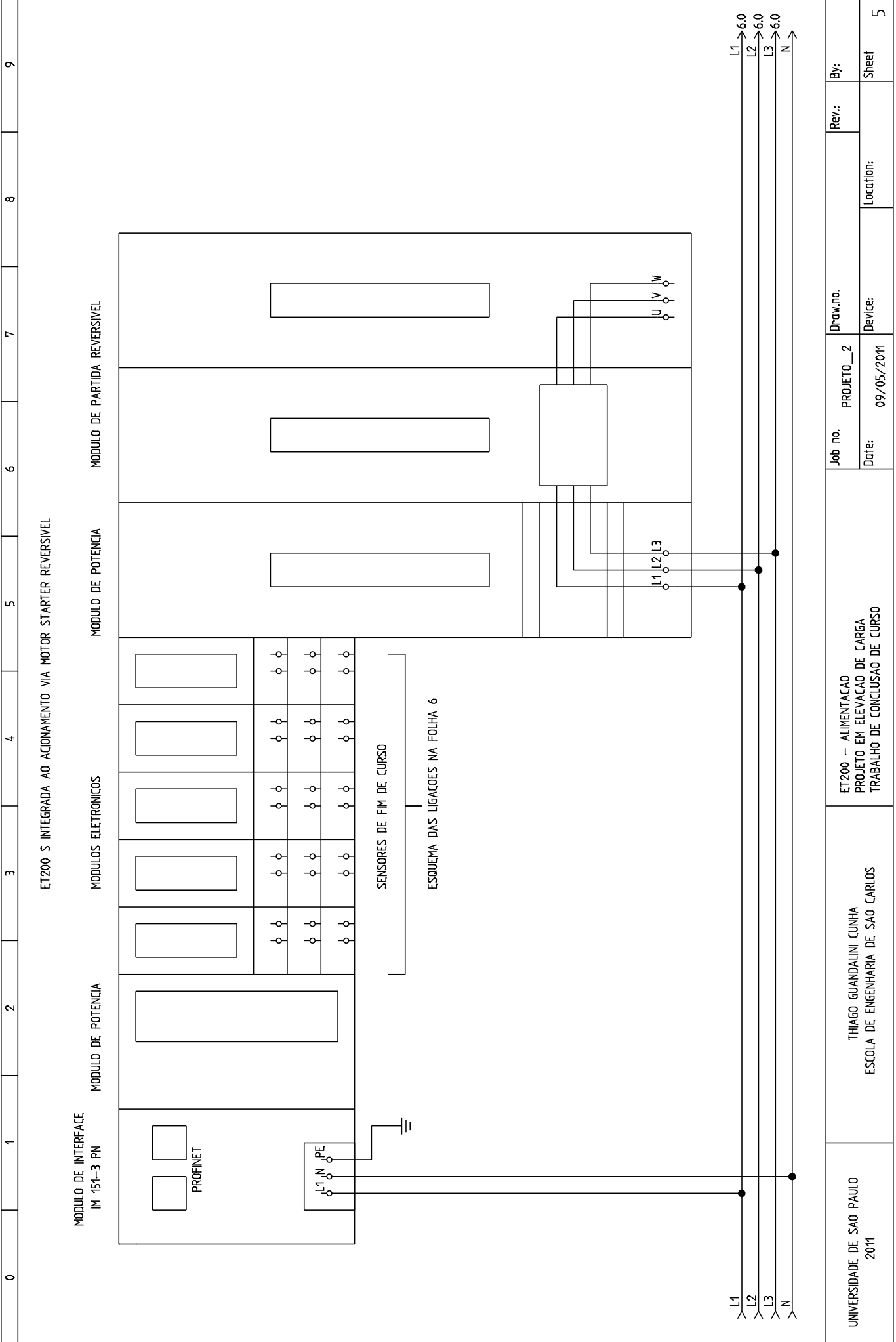
Draw.no.  
Device:

Rev.:  
Location:

By:  
Sheet

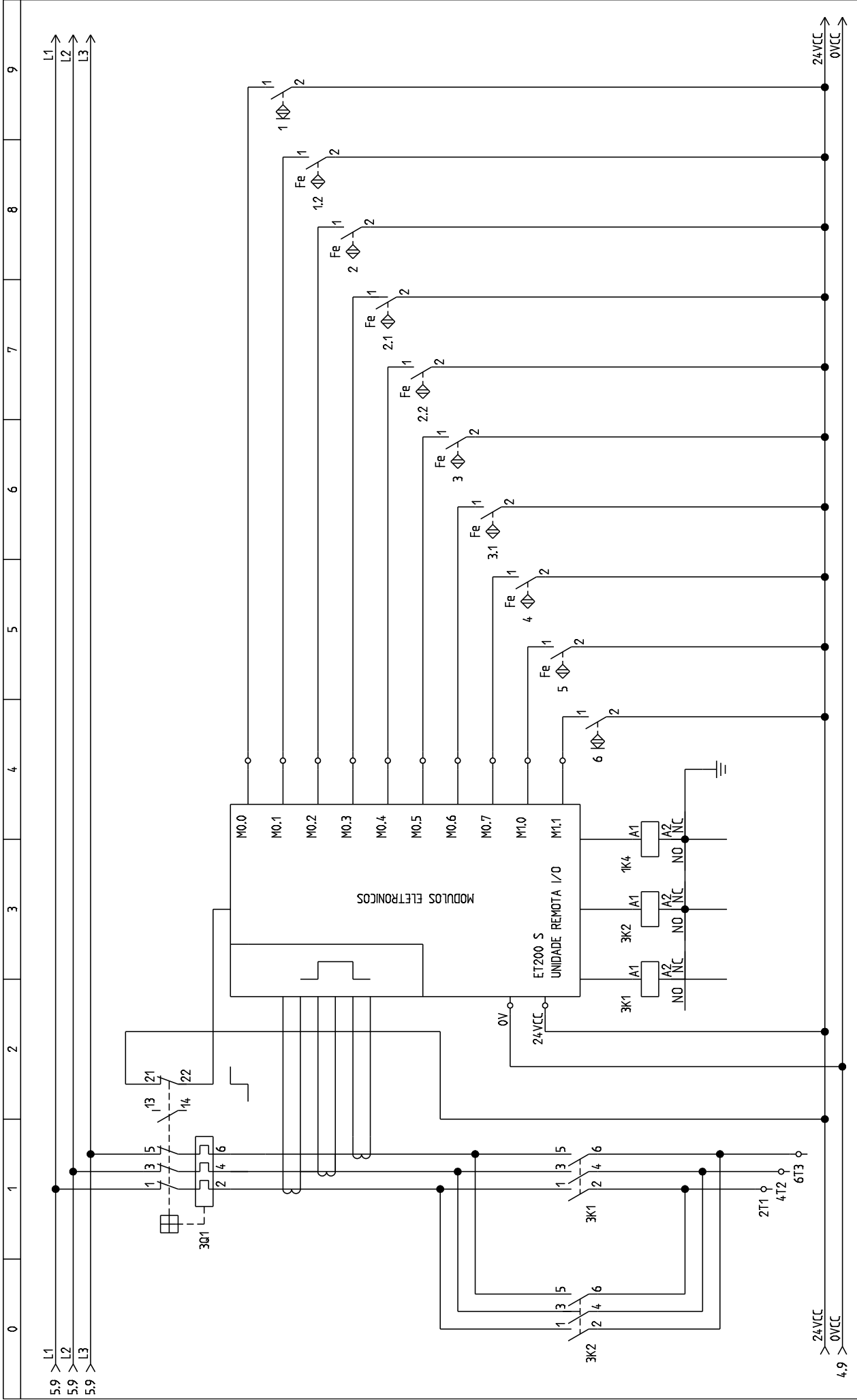


UNIVERSIDADE DE SAO PAULO 2011	THIAGO GUANDALINI CUNHA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS	PLC – SAIDAS DIGITAIS PROJETO EM ELEVAÇÃO DE CARGA TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO	Job no. PROJETO_2	Draw.no.	Rev.:	By:
			Date: 02/05/2011	Device:	Location:	Sheet 4

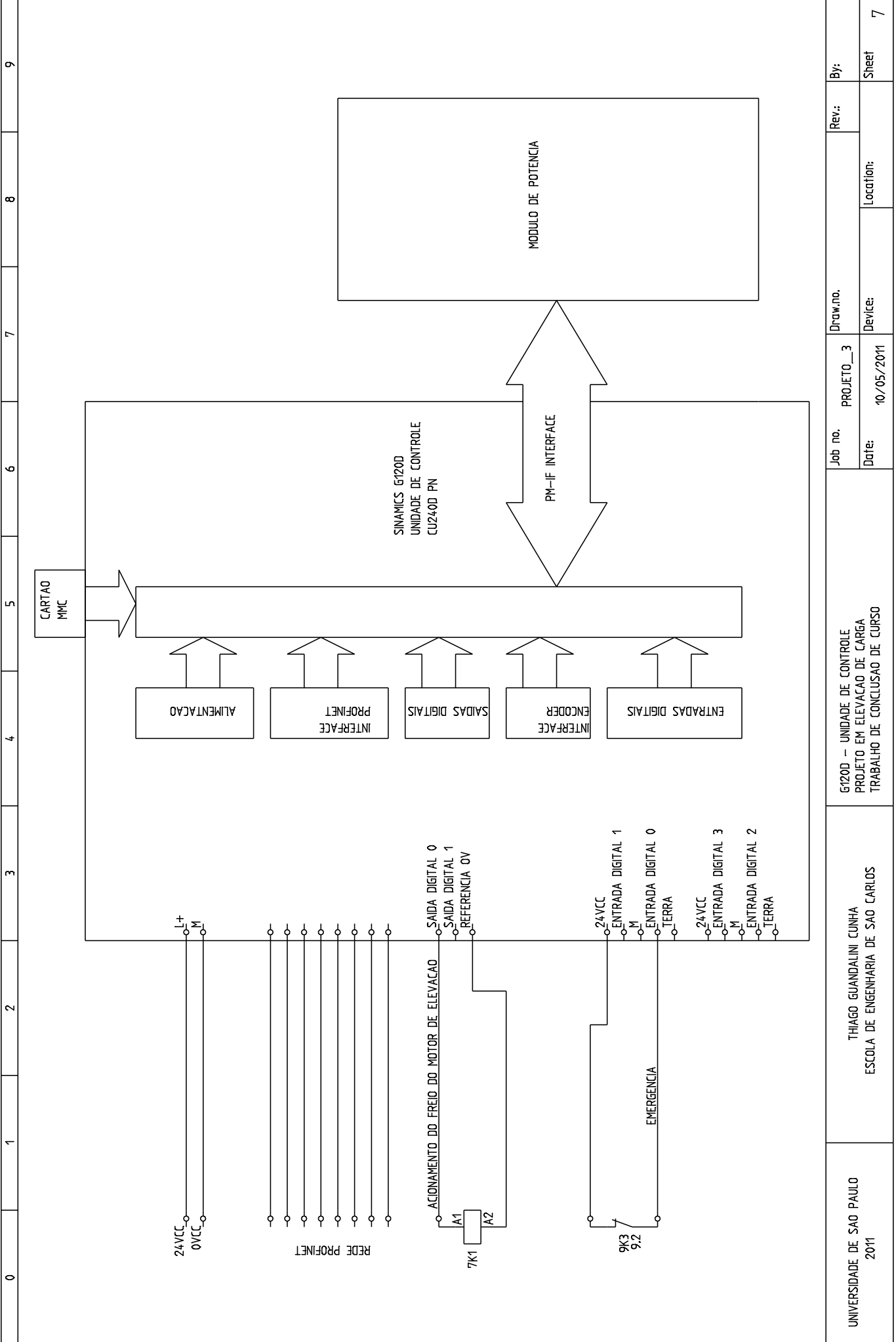


ET200 S INTEGRADA AO ACIONAMENTO VIA MOTOR STARTER REVERSIVEL

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO 2011	THIAGO GUANDALINI CUNHA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS	ET200 - ALIMENTACAO PROJETO EM ELEVACAO DE CARGA TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO	Job no. Date: 09/05/2011	Draw.no. Device:	Rev.: Location:	By: Sheet 5
-----------------------------------	---	---	-----------------------------	---------------------	--------------------	----------------

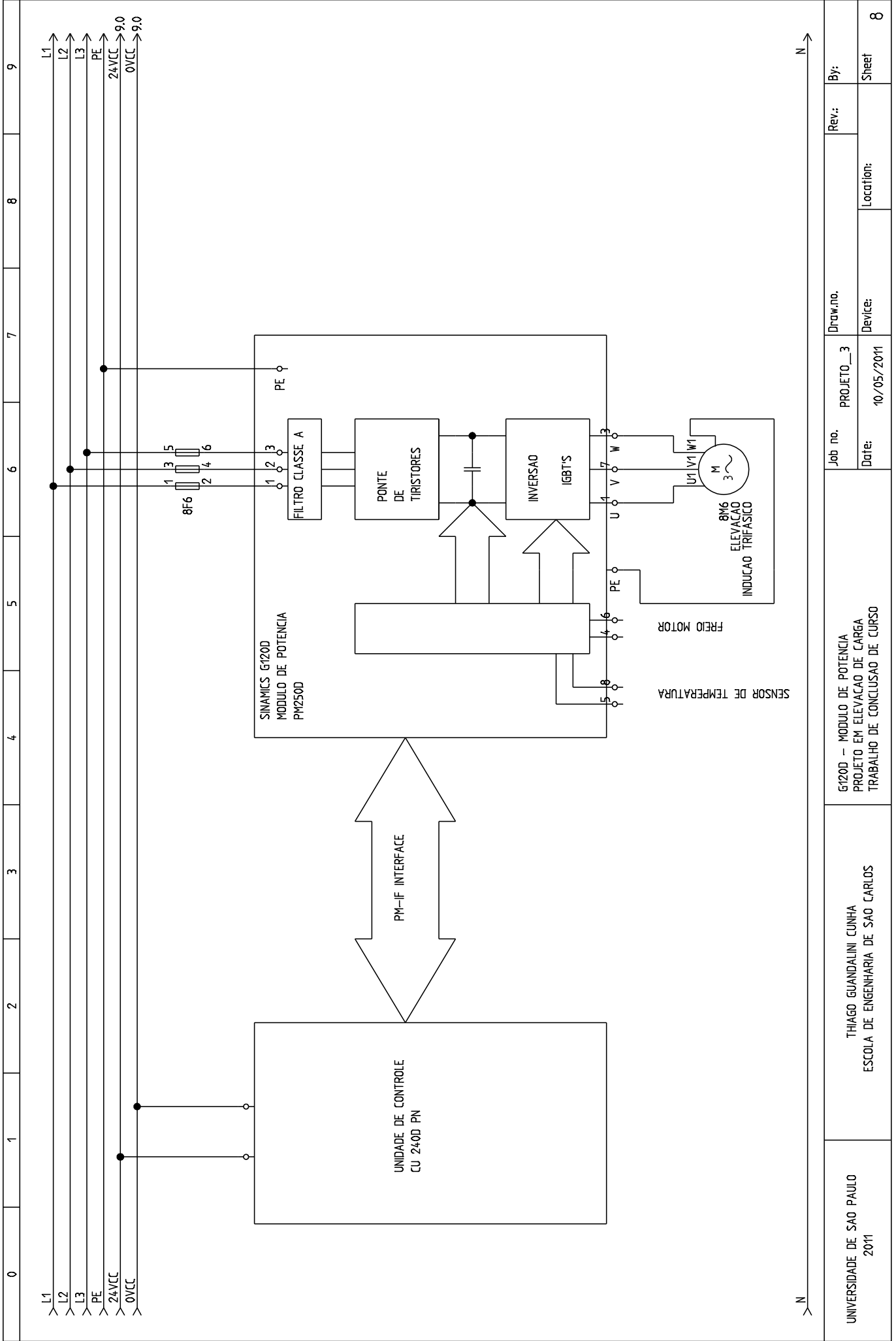


UNIVERSIDADE DE SAO PAULO 2011	THIAGO GUANDALINI CUNHA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS	ET200 - LÓGICA DE OPERAÇÃO - SENSORES PROJETO EM ELEVAÇÃO DE CARGA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	Job no. PROJETO_2 Date: 09/05/2011	Draw.no. Device: Location:	Rev.: Sheet 6
-----------------------------------	---	---	---	----------------------------------	---------------------

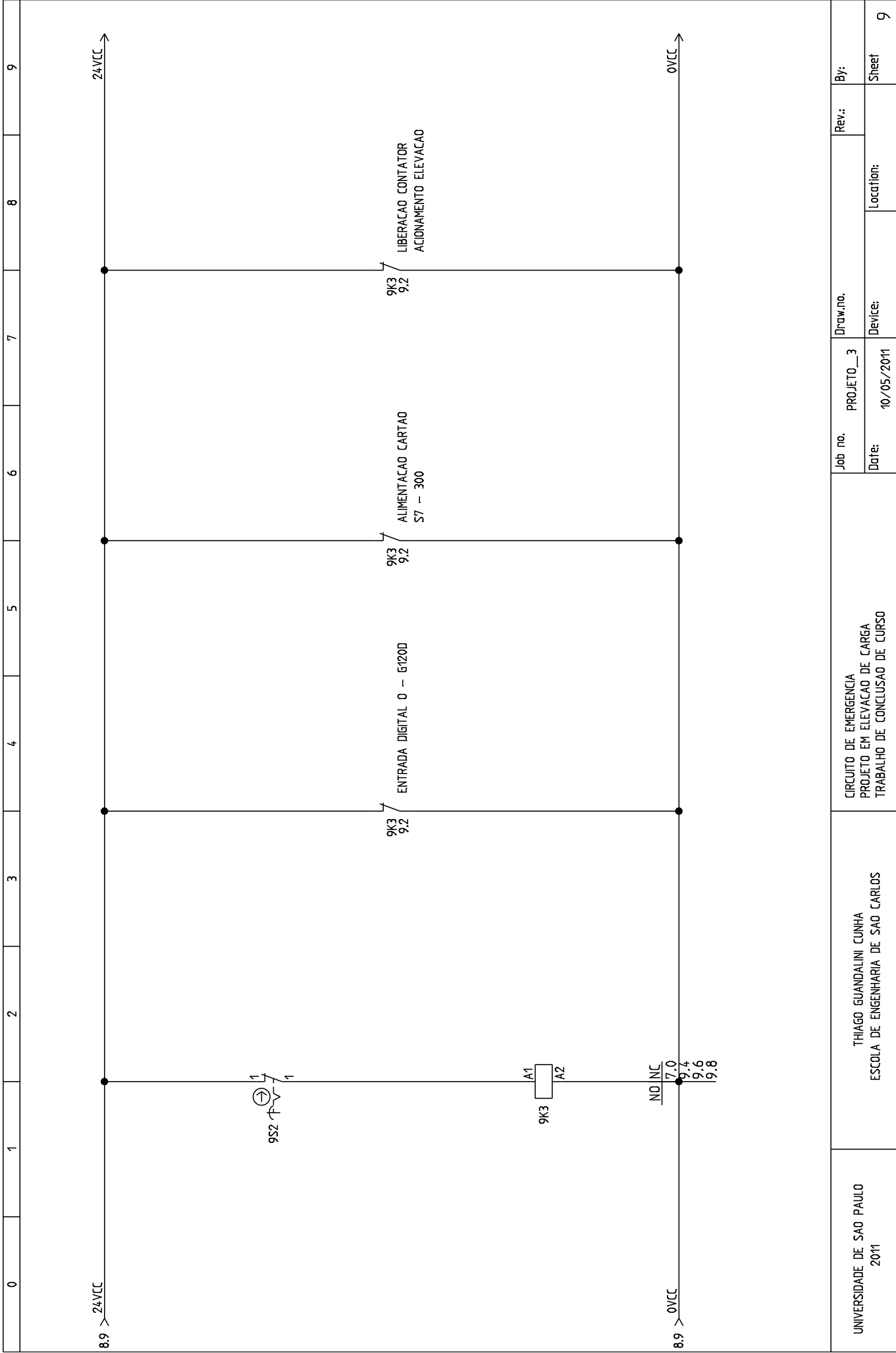


UNIVERSIDADE DE SAO PAULO 2011	THIAGO GUANDALINI CUNHA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS		G120D – UNIDADE DE CONTROLE PROJETO EM ELEVAÇÃO DE CARGA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		Job no. PROJETO_3	Draw.no.	Rev.:	By:
			Date: 10/05/2011	Device:	Location:			Sheet 7



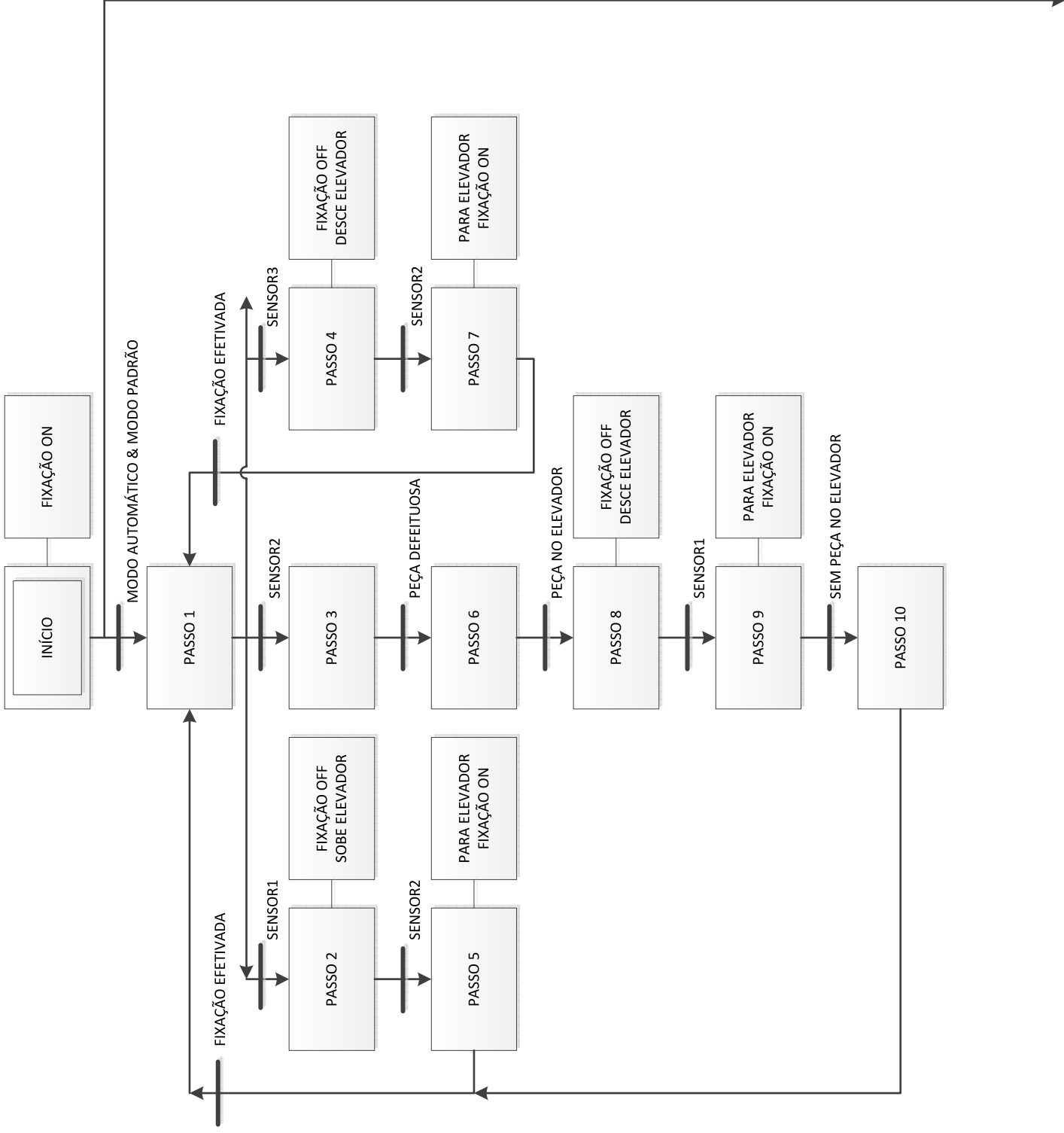


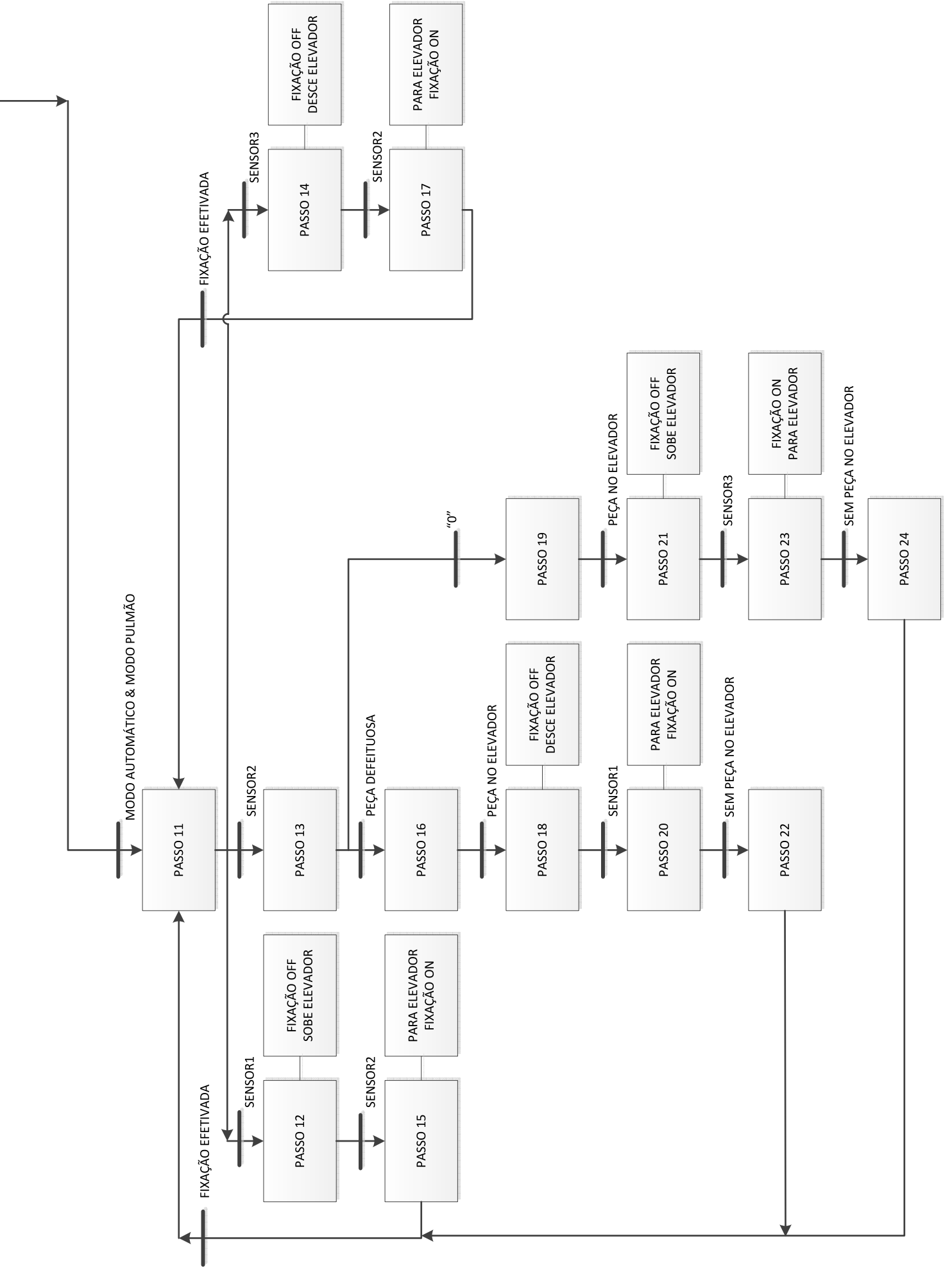
UNIVERSIDADE DE SAO PAULO 2011	THIAGO GUANDALINI CUNHA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS	G120D - MODULO DE POTENCIA PROJETO EM ELEVACAO DE CARGA TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO	Job no. PROJETO_3	Draw.no.	Rev.:	By:
			Date: 10/05/2011	Device:	Location:	Sheet 8



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
<p>8,9 &gt; 24VCC</p> <p>9S2 1 1</p> <p>9K3 A1 A2</p> <p>NO INC 7,0 9,4 9,6 9,8</p> <p>8,9 &gt; 0VCC</p> <p>9K3 9,2 ENTRADA DIGITAL 0 - G120D</p> <p>9K3 9,2 ALIMENTACAO CARTAO S7 - 300</p> <p>9K3 9,2 LIBERACAO CONTATOR ACIONAMENTO ELEVACAO</p> <p>24VCC</p> <p>0VCC</p>											
UNIVERSIDADE DE SAO PAULO 2011			THIAGO GUANDALINI CUNHA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS				CIRCUITO DE EMERGENCIA PROJETO EM ELEVACAO DE CARGA TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO			Job no. PROJETO_3 Date: 10/05/2011	
							Draw.no.		Rev.:		By:
							Device:		Location:		Sheet 9

## 9.2. **APÊNDICE B – DIAGRAMAS SFC**





### 9.3. APÊNDICE C – PARAMETRIZAÇÃO INVERSOR G120D

Padrão Norte-Americano (kW), 60 Hz

P0100 = 2

Aplicação do Inversor (Torque Constante ou Variável)

P0205 = 0 (Sobrecarga Elevada)

Seleção do Tipo de Motor

P0300 = 1 (Motor Assíncrono)

Tensão Nominal do Motor

P0304 =

Corrente Nominal do Motor

P0305 =

Potência Nominal do Motor

P0307 =

Cosφ do Motor

P0308 =

Eficiência do Motor

P0309 =

Frequência Nominal do Motor

P0310 = 60 Hz

Velocidade Nominal do Motor

P0311 =

Corrente de Magnetização do Motor

P0320 = 0% (Padrão)

P0320 = 35,3% (Ajustado automaticamente após a auto-identificação)

Tipo de Refrigeração do Motor

P0335 = 0 (Auto-ventilado)

Aplicação Tecnológica

P0500 = 0 (Sobrecarga Elevada)

Fator de Sobrecarga do Motor

P640 = 200% (Padrão)

Seleção de Fonte de Comando

P0700 = 6 (FieldBus)

Seleção do Setpoint de Frequência

P1000 = 6 (FieldBus)

Frequência Mínima

P1080 = 1,2 Hz

Frequência Máxima

P1082 = 60 Hz

Tempo da Rampa de Subida

P1120 = 3s

Tempo da Rampa de Descida

P1121 = 1,5s

Tempo da Rampa de Descida de Emergência

P1135 = 1s

Modo de Controle

P1300 = 20 (Controle Vetorial de Velocidade – Sem Encoder)

Término do Comissionamento Rápido

P3900=1

Habilitar a Função do Freio

P1215 = 1

Saída digital 0 (DO0) como frenagem

P0732 = r52.12

Tempo para Liberação do Freio

P1216 = 0,4s

Tempo para Fechamento do Freio

P1217 = 0,1

Boost's do Controle Escalar (V/F)

P1310 = 50% (Boost de Torque Contínuo)

P1311 = 20% (Boost de Aceleração)

Boost's do Controle Vetorial sem Sensor (SLVC)

P1610 = 50% (Boost de Torque Contínuo)

P1611 = 20% (Boost de Aceleração)

Ganhos do Regulador de Velocidade

P1470 = 3 (Ganho Proporcional do Controle Vetorial sem Sensor)

P1472 = 168ms (Tempo Integral do Controle Vetorial sem Sensor)

## 9.4. ANEXO D – BLOCO PROGRAMÁVEL DE 2 VELOCIDADES 3 ANDARES

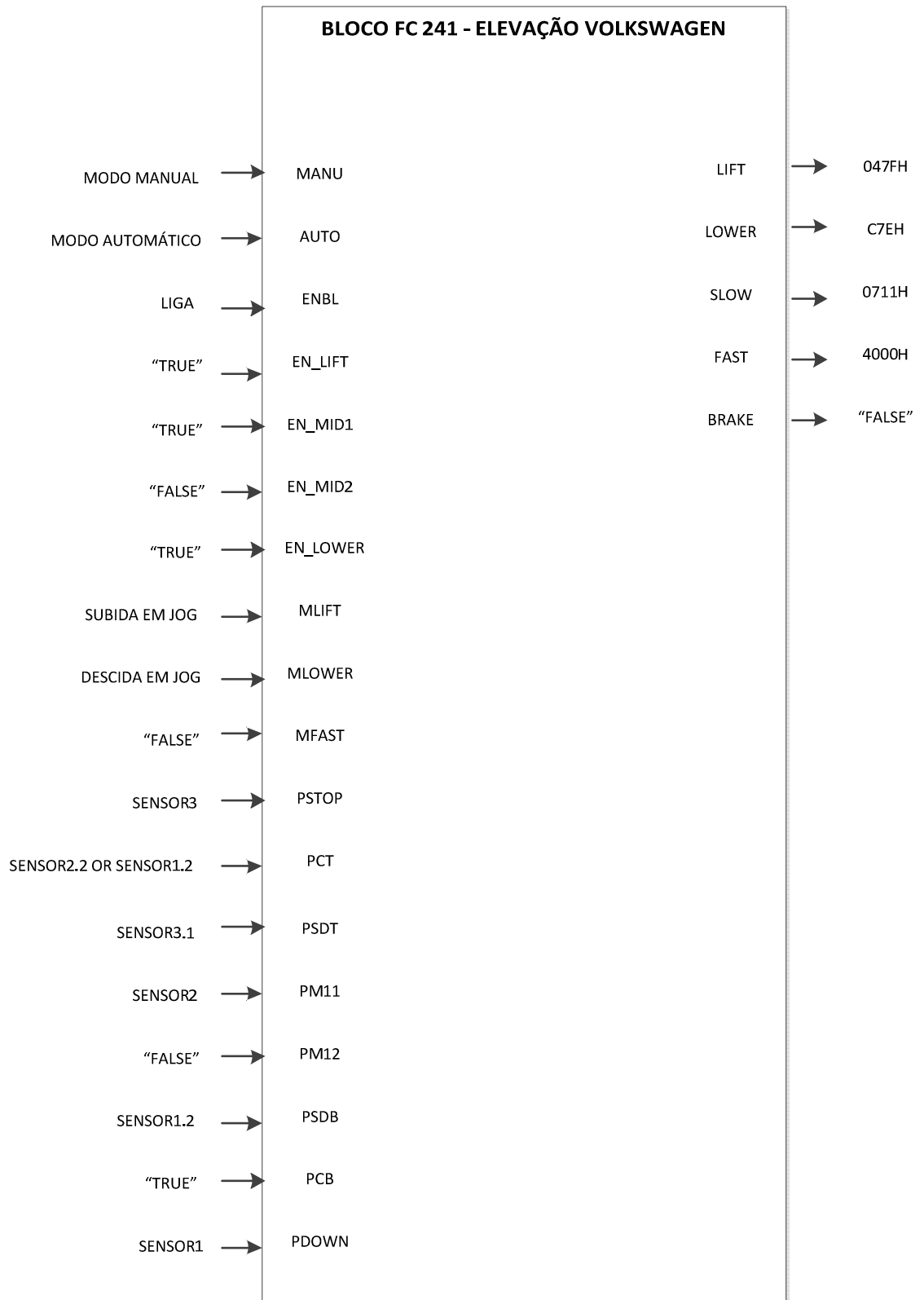


Figura 42 - Bloco programado para atender à aplicação desenvolvida