



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

CONFIGURAÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM SERVOACIONAMENTO

Leonardo Franco Pinto

Projeto de Graduação apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Richard M. Stephan

Rio de Janeiro

Dezembro de 2014

CONFIGURAÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM SERVOACIONAMENTO

Leonardo Franco Pinto

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE
DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinado por:

Prof. Richard M. Stephan, Dr.-Ing

Prof. Elkin F. Rodriguez Velandia, D.Sc

Prof. Maria D. Bellar, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2014

Franco Pinto, Leonardo

Configuração e funcionamento de um Servoacionamento / Leonardo Franco Pinto. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.

XIV, 57 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Richard M. Stephan

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/ Departamento de Engenharia Elétrica, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 52 – 52.

1. Acionamento. 2. Servomotor. 3. Servoconversor.
4. Servoacionamento. 5. Controle. 6. Malha fechada. I. M. Stephan, Richard. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica. III. Configuração e funcionamento de um Servoacionamento.

*A todas as pessoas especiais em
minha vida que aguentaram esta
etapa, dando apoio e incentivo a
cada passo.*

Agradecimentos

Tenho a sorte de ter em minha vida diversas pessoas, que mesmo sem saber, deram apoio e incentivo durante essa longa e importante jornada que é a Graduação.

Minha família sempre incentivou e apoiou minhas decisões, dando todo o suporte emocional e também financeiro para perseguir meus sonhos e vontades. Graças à minha mãe e meus avós, pude me tornar uma pessoa esforçada e determinada, capaz de enfrentar e superar os desafios que me são apresentados.

O carinho e educação deles contribuíram para a formação da pessoa que sou hoje, sempre em busca da melhora individual e do ambiente que me cerca, atuando com ética e respeito em todas as situações.

Devo muito à minha determinação de perseguir e brigar por meus sonhos, característica que me permitiu fazer parte de um relacionamento sério que nos traz muita felicidade. Fazemos muitos planos juntos, temos um ao outro para auxiliar nos eventuais tropeços que tentam nos impedir de chegar onde queremos.

Minha namorada desperta em mim o desejo de cada dia me esforçar para me tornar melhor, não só para ela mas para todos os que me rodeiam e para o mundo de forma geral. Essa força que vem dela sem ela nem mesmo ter conhecimento, me ajuda a levantar todos os dias e batalhar para obter o máximo das oportunidades que me são apresentadas.

Tenho ainda diversos amigos que, mesmo indiretamente, ajudaram a manter meu foco e até mesmo minha saúde mental, estando sempre presentes em momentos difíceis e fornecendo os momentos de lazer e descanso, essenciais para vencermos as dificuldades do dia a dia.

Com profundo respeito e admiração pela UFRJ e o Departamento de Engenharia Elétrica, agradeço ao meu orientador e meus professores que mais me cobraram em suas disciplinas, os que me ensinaram a valorizar o estudo e sentir orgulho do que aprendemos através de nosso esforço. Da vontade de não decepcionar a nós mesmos ao fim de um período, sendo recompensado com merecidas boas notas, adquiridas com suor e estafa, física e mental.

Pude contar ainda com inúmeros colegas de graduação e, futuramente, de profissão, nos mais variados grupos de estudo e trocas de experiências e aprendizados.

O suporte e ensinamento da equipe técnica do *Laboratório de Máquinas Elétricas*, sempre dispostos a compartilhar sua incomparável experiência prática a nós alunos, novos nestes conhecimentos. Agradecimentos também devem ser direcionados aos funcionários de uma empresa grande parceira do laboratório, pessoas que se dispuseram e forneceram grande ajuda durante todo o trabalho.

A elaboração deste trabalho e sua formatação com o grau de qualidade, que tanto a instituição quanto eu mesmo exigimos de mim, se deve ao projeto base COPPETEX(<http://coppetex.sourceforge.net/>), desenvolvido por alunos para plataforma L^AT_EX, para auxiliar os estudantes de engenharia a desenvolverem trabalhos e teses seguindo as normas estabelecidas pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ).

Estarei em eterna dívida às pessoas especiais citadas aqui, que ao lerem este texto saberão exatamente de quem se trata. Espero apenas que, por terem feito parte deste trabalho de uma forma ou de outra, possam ficar tão orgulhosos com o resultado quanto eu estou.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

CONFIGURAÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM SERVOACIONAMENTO

Leonardo Franco Pinto

Dezembro/2014

Orientador: Richard M. Stephan

Departamento: Engenharia Elétrica

Este projeto de fim de curso reforça a importância do estudo de máquinas elétricas no curso de Engenharia Elétrica, motivado pelo funcionamento e análise de um servomotor.

O trabalho prático consiste na substituição de um equipamento fora de linha da WEG Automação, o servoconversor SCA04, por sua versão atual, o SCA06.

Para tanto, é necessário o conhecimento dos dois modelos, tanto as características das funções oferecidas em cada um quanto à programação necessária para utilização.

Foram feitas diversas adaptações e ajustes para o máximo aproveitamento da bancada didática da WEG com o estudo do servoacionamento disponível no *Laboratório de Máquinas Elétricas* do Departamento de Engenharia Elétrica da UFRJ, sendo imprescindível o estudo aos mínimos detalhes do sistema anterior.

O foco é a recuperação das principais funções de operação do servomotor, apresentando ainda opções de interfaces diferenciadas para o usuário que facilitam a programação do servoconversor. Feito isso, é desejável que o trabalho sirva como uma referência clara e organizada para realização de consultas e trabalhos futuros.

Recuperadas as principais funções desejadas para o funcionamento do servomotor, que já constitui parte dos resultados obtidos, foram ainda extraídos dados através dos programas de interface desenvolvidos e fornecidos pela WEG.

Por fim, a bancada restaurada do servomecanismo em funcionamento abre oportunidade para diversos trabalhos futuros, sugeridos no capítulo final deste trabalho.

Abstract of Graduation Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Electrical Engineer

CONFIGURATION AND OPERATION OF A SERVO MECHANISM

Leonardo Franco Pinto

December/2014

Advisor: Richard M. Stephan

Department: Electrical Engineering

This graduation essay reinforces the importance of the study of electrical machinery during the Electrical Engineering course, through the study of the operation and analysis of a servomotor as motivation.

The practical work consists on the substitution of the outdated SCA04 servo drive from WEG Automação by its newer model SCA06.

For this, the knowledge of both models is required, both the functionality characteristics and the necessary programming for utilization.

Several adaptations and adjustments were made as to achieve maximum use of the servo mechanism available at the electric machinery laboratory from the electrical engineering department of UFRJ, the system of study in every detail was indispensable.

Focus was given to the recovery of the servomotor main operation functions, with interface options being presented to facilitate its programming by future users. With that done, it is desired that the carried out work serves as a clear and organized reference for future research.

Once the main desired functions were recovered for the servomotor operation, which constitutes part of the results, data was extracted by using WEG software.

Lastly, the restored servo mechanism panel functioning properly allows opportunities for future researches development, with suggestions being presented in this work's final chapter.

Sumário

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Abreviaturas	xiv
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Organização	4
2 Servoacionamento	5
2.1 Descrição do Servoacionamento	5
2.2 Descrição do Servomotor	6
2.2.1 Sensor	6
2.2.2 Características Construtivas	7
2.3 Descrição do Servoconversor	9
2.3.1 Conectores do SCA06	11
2.3.2 Interface Homem Máquina	14
2.4 Aplicações Típicas	16
3 Instalação Mecânica	19
3.1 Instalação Mecânica	19
3.2 Funções do Servoacionamento	20
3.3 Módulos de Expansão	25

4 Instalação Elétrica	27
4.1 Instalação Elétrica do Servoconversor	27
4.2 Referência Analógica de Velocidade	28
4.3 Inversão do Sentido de Giro	29
4.4 Medidor Analógico de Velocidade	32
5 Configuração do Servoconversor	33
5.1 Configuração do Servoconversor	33
5.2 Parâmetros de Operação	34
5.3 Parâmetros de Regulação	35
6 Resultados Obtidos	37
6.1 Funcionamento Mecânico	37
6.2 Análise Qualitativa	38
6.2.1 <i>SuperDrive G2</i>	38
6.3 Análise Quantitativa	45
6.4 Diagramas Elétrico e de Comando	47
7 Conclusões	48
7.1 Conclusões	48
7.2 Trabalhos Futuros	49
Referências Bibliográficas	52
A Símbologia	53
B Diagrama Elétrico	54
C Diagrama de Comando	56

Lista de Figuras

1.1	Diagrama esquemático resumido das famílias de motores.	2
2.1	Relação entre as partes constituintes de um sistema automatizado.	5
2.2	Servomotor adquirido pelo <i>Laboratório de Máquinas Elétricas</i> .	6
2.3	Esquema de um <i>resolver</i> .	7
2.4	Vistas gerais do SCA06 mostrando a posição dos conectores.	10
2.5	Pinagens do conector X2 no servoconversor (a) e no servomotor (b).	12
2.6	Conector X5 (a) e fonte externa de tensão (b).	13
2.7	Pinagens do conector X8 no servoconversor (a) e no servomotor (b).	13
2.8	Imagen do conector X9.	14
2.9	Ilustração da IHM e identificação das teclas.	15
3.1	Bancada didática aberta (a), sua disposição externa de chaves (b) e servomotor fixado na parte inferior (c).	20
3.2	Bancada didática aberta (a) e fechada (b) para visualização de disposição de chaves e equipamentos.	21
3.3	Módulo de Expansão de Saídas Analógicas - EAN2.	25
4.1	Diagrama de blocos do controle em cascata de um MSIP.	28
4.2	Vistas das partes frontal (a) e anterior (b) do potêniometro de $5k\Omega$.	29
4.3	Chave acionadora da inversão do sentido de giro, alternando entre horário e anti-horário.	29
4.4	Configuração esquemática das conexões do potenciômetro.	30
4.5	Círcuito representativo da situação de máxima resistência no potenciômetro.	31

4.6	Resistores de $1k\Omega$ que dividem a tensão da fonte $24V_{cc}$	32
4.7	Vistas das partes frontal (a) e anterior (b) do medidor analógico de velocidade.	32
6.1	Medidas de velocidade em sentido horário (a) e anti horário (b).	37
6.2	Tela inicial do <i>SuperDrive G2</i>	38
6.3	Menu Projeto	39
6.4	Telas com as opções de identificação automática ou manual do <i>drive</i>	39
6.5	Seleção manual do modelo e versão.	40
6.6	Opções básicas do <i>SuperDrive G2</i>	40
6.7	Editor de parâmetros.	41
6.8	Opção para escrever os parâmetros alterados na memória do <i>drive</i>	41
6.9	Tela inicial das opções da função <i>Trace</i>	42
6.10	Configuração da função <i>Trace</i>	42
6.11	Dados adquiridos pela função <i>Trace</i>	44
6.12	Opção para exportar os dados da função <i>Trace</i> no formato <i>.csv</i>	44
6.13	Gráfico da velocidade do motor e da velocidade de referência.	45
6.14	Gráfico da velocidade e das correntes do motor.	45
6.15	Gráfico da velocidade e das tensões do motor.	45
6.16	Campos magnéticos de estator e rotor de um MSIP.	47

Lista de Tabelas

2.1	Comparativo de conectores do SCA04 e do SCA06.	11
2.2	Pinagem e funções do conector X1 de entradas e saídas do controle.	11
2.3	Pinagem e funções do conector X2 de realimentação de posição.	12
2.4	Pinagem e funções do conector X2 de realimentação de posição.	14
2.5	Funcionalidades da IHM.	15
3.1	Identificação dos equipamentos e funções observadas na disposição interna.	21
3.2	Identificação dos equipamentos e funções observadas na disposição externa.	22
3.3	Código de identificação dos acessórios utilizados.	26

Lista de Abreviaturas

B	Densidade de Fluxo Magnético, p. 7
CAN	<i>Controller Area Network</i> ou Rede de Controle de Área, em português, p. 12
CA	Corrente Alternada, p. 2
CCW	<i>Counterclockwise</i> ou sentido anti-horário, em português, p. 29
CC	Corrente Contínua, p. 2
CLP	Controlador Lógico Programável, p. 51
CPU	<i>Central Processing Unit</i> ou Unidade Central de Processamento, em português, p. 9
CW	<i>Clockwise</i> ou sentido horário, em português, p. 29
H	Intensidade de Fluxo Magnético, p. 7
IHM	Interface Homem Máquina, p. 5
MSIP	Motor Síncrono de Ímã Permanente, p. 3
Nd-Fe-B	Neodímio-Ferro-Boro, p. 7
PID	Proporcional Integral Derivativo, p. 28
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> ou Modulação por Largura de Pulso, em português, p. 9
Sm-Co	Samário-Cobalto, p. 7
WLP	<i>WEG Ladder Programmer</i> , p. 33

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

O modelo vigente de sociedade, baseado em forte industrialização e comercialização quase onipresente, faz grande uso das máquinas elétricas, cujas diversas aplicações formam um vasto campo de estudo e utilização.

É possível citar brevemente alguns dos usos mais comuns de máquinas elétricas, como a conversão de energia mecânica para fornecimento de energia elétrica, o que caracteriza um gerador, ou a máquina que realiza a tarefa reversa, um motor.

Motores são amplamente utilizados na indústria, com aplicações de movimentação de cargas através do uso esteiras e elevadores, máquinas que realizam tarefas como prensas e laminadores, bombeamento, compressores, guindastes, sendo esta uma pequena lista de exemplos, de usos que nos afetam indiretamente.

Há também ainda inúmeras outras aplicações que envolvem as pessoas diretamente, como o auxílio na movimentação através de veículos, sejam carros elétricos ou híbridos e trens, elevadores em edifícios, equipamentos domésticos como ventiladores, liquidificadores e outros utensílios.

Assim percebe-se a importância de tal equipamento, principalmente na indústria, que pode ser comprovada pelo seu consumo de energia. Na indústria, os motores elétricos representam de 30% a 40% do consumo da energia elétrica gerada no mundo e, em lugares com maior riqueza, como na União Europeia, o consumo pode chegar até 70%. Por fim, no setor terciário, o de edificações não residenciais, o consumo chega a aproximadamente 33%[1], sendo assim menos relevante mas não menos importante.

Portanto, o entendimento do funcionamento de máquinas elétricas através das análises de desempenho e eficiência, dos estudos para melhorias construtivas, das

características de serviço e do ambiente a serem utilizados se tornam informações de extrema importância que estão diretamente ligadas ao consumo da energia e a própria eficiência e execução das tarefas para as quais se deseja um determinado motor.

Existem muitos tipos de motores elétricos, que podem ser divididos em três principais famílias: motores CC de corrente, motores CA e o motor universal, visualizadas esquematicamente de forma resumida na figura 1.1.

Os motores da família CA são os mais utilizados atualmente, pois normalmente a distribuição de energia elétrica é feita em CA, facilitando o seu uso. Da outra família, tem-se os motores CC, que possuem custo elevado e necessitam de uma fonte CC ou de um dispositivo conversor CA-CC para seu correto funcionamento[2].

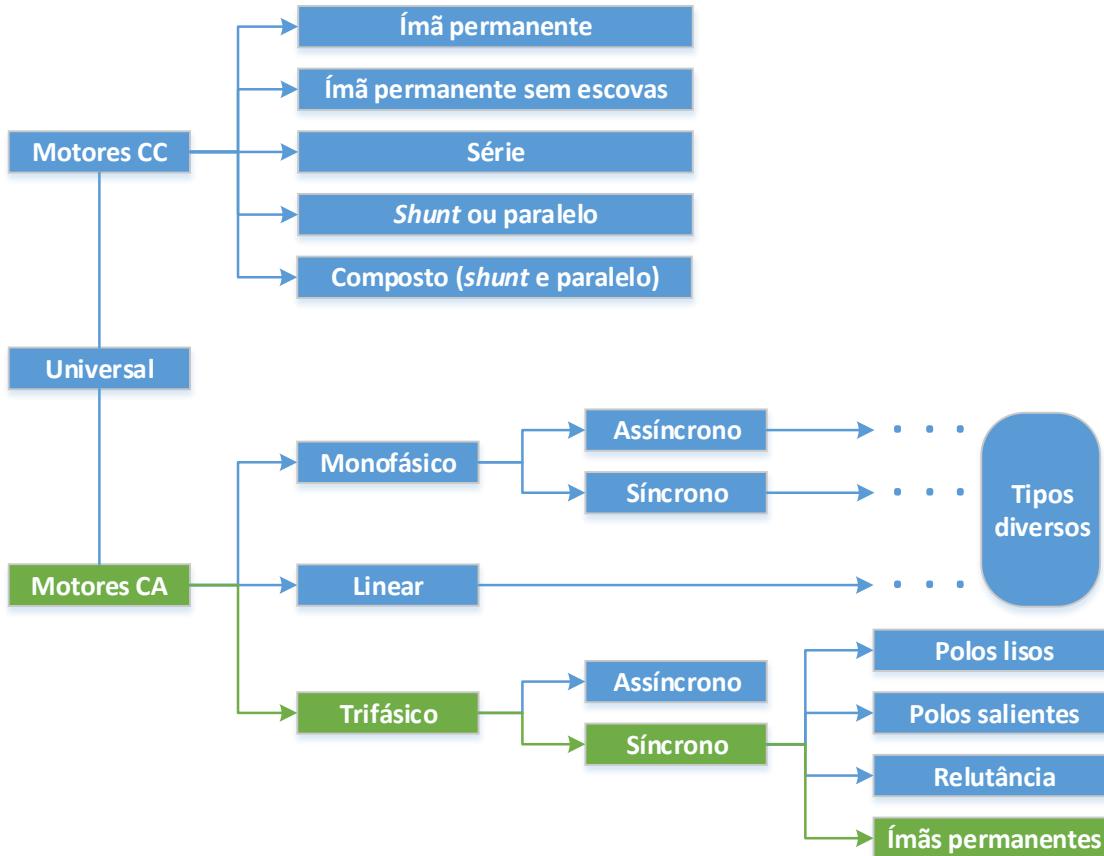


Figura 1.1: Diagrama esquemático resumido das famílias de motores.

Para este trabalho, foi escolhido um motor especial, chamado de servomotor. Este é acionado por circuitos de eletrônica de potência e controlado por microprocessadores digitais, com controle de malha fechada. Seu principal objetivo é a utilização em aplicações de alta precisão, demanda gerada pela área de automação industrial que exige controles muito específicos para a execução de tarefas.

O servomotor sob estudo, que será apresentado em maiores detalhes no Capítulo 2, é um motor síncrono de ímã permanente (MSIP) de corrente alternada, destacado no diagrama, e é acompanhado de um servoconversor, responsável pelo controle digital, formando assim um conjunto chamado de servoacionamento.

Em épocas anteriores à evolução tecnológica dos dispositivos semicondutores de potência e de materiais magnéticos de elevados magnetismo remanente e força coercitiva, os motores CC eram o tipo mais utilizado em servoacionamento pois permitiam o controle de torque com mais facilidade e precisão[3].

A crescente utilização de motores elétricos com acionamento por eletrônica de potência deu uma sobrevida ao estudo de máquinas elétricas, considerado desinteressante por muitos alunos.

Este avanço tecnológico permite a substituição de alguns tipos de motores por outros, diminuindo custos e melhorando o desempenho de modo geral[4]. Sendo esta, a maior motivação para um estudo mais aprofundado do servomotor.

1.2 Objetivo

Este trabalho objetiva, principalmente, acrescentar conteúdo à formação de Engenharia Elétrica que, apesar de conter estudos de máquinas elétricas, possui pouca atenção às técnicas de controle destas, vistas em detalhes em apenas na disciplina *Acionamentos e Controles Elétricos*. Outras disciplinas, como *Laboratório de Sistemas de Controle I e II* abordam o assunto superficialmente, mas não aprofundam seu estudo.

Na disciplina *Acionamentos e Controles Elétricos* há uma multidisciplinariedade, juntando o estudo de máquinas elétricas, sistemas de controle, eletrônica de potência, entre outros, procurando atender à necessidade de se fazer uma conexão dos conteúdos oferecidos durante o curso de Engenharia Elétrica.

Durante o estudo de acionamentos, são propostos e estudados o controle de diversos tipos de máquinas elétricas. No entanto, o servoacionamento, feito através de sensores de posição e velocidade, são apenas mencionados.

Portanto, esta monografia visa uma colaboração com a disciplina *Acionamentos e Controles Elétricos*, acrescentando uma análise do acionamento de um servomotor com o servoconversor.

Esta aplicação multidisciplinar almeja despertar o interesse de alunos em seguir estudos e áreas relacionadas ao sistema aqui apresentando, permitindo novas possibilidades para trabalhos futuros.

1.3 Organização

O trabalho é organizado de forma a separar os assuntos em uma ordem de evolução do conhecimento necessário para se trabalhar com o servomecanismo apresentado.

No capítulo 1, tem-se a introdução junto à motivação que levou a elaboração deste trabalho, seguida no capítulo 2, onde são mostrados os fundamentos que definem um servoacionamento.

O estudo e conhecimento destes dois capítulos precede o início do trabalho realizado em laboratório para reativação da bancada didática que contém o novo servoconversor SCA06 que substituiu o antigo SCA04 para poder acionar o servomotor SWA 562-2.5-20.

O procedimento realizado em laboratorio é descrito nos capítulos 3, 4 e 5, separados respectivamente em Instalação Mecânica, Instalação Elétrica e Configuração do Servoconversor.

No capítulo 6, são apresentados os resultados obtidos ao final de toda a instalação e programação. Finalmente, no capítulo 7, serão resumidas as conclusões finais e propostos trabalhos futuros a serem realizados.

Capítulo 2

Servoacionamento

2.1 Descrição do Servoacionamento

Um dos principais objetivos de um servoacionamento é atender a uma demanda de operações na área de automação industrial. Resumidamente, os sistemas automatizados podem ser descritos como a composição de três partes, operação, comando e interface.



Figura 2.1: Relação entre as partes constituintes de um sistema automatizado.

A figura 2.1 mostra a relação da composição de um sistema automatizado, onde a parte operativa possui mecanismos e atuadores que efetuam operações no processo.

Sensores e pré-atuadores fazem a conexão com a parte de comando, que através de uma Interface Homem Máquina (IHM) com o usuário, faz um processamento de sinais distribuindo ordens para a parte operativa.

Neste servoacionamento, a parte de comando é realizado pelos servoconversores, que no caso específico deste trabalho é o SCA06 da WEG.

O papel da parte operativa é realizado pelo servomotor SWA 562-2.5-20 da WEG. Ambos serão apresentados mais detalhadamente ao longo deste capítulo.

2.2 Descrição do Servomotor

O servomotor utilizado é um motor síncrono de ímã permanente de corrente alternada. O fabricante é a WEG Automação e seu modelo é o SWA 562-2.5-20, visualizado na figura 2.2. O número 56 indica o tipo de carcaça, 2 indica nível de tensão de 220V, o número 2.5 é relativo ao seu torque, em $N.m$, e 20 indica velocidade nominal de 2.000 rpm.

O rotor é composto por ímãs permanentes, caracterizando a máquina como uma MSIP. Os ímãs podem ser considerados parte do entreferro uma vez que apresentam alta resistividade elétrica e permeabilidade magnética praticamente igual a do ar, implicando em uma pequena reatância síncrona.



Figura 2.2: Servomotor adquirido pelo *Laboratório de Máquinas Elétricas*.

2.2.1 Sensor

Os servomotores funcionam em conjunto com servoconversores, e estes necessitam de informações de posição e/ou velocidade, que podem ser estimadas ou medidas, para execução do controle. Em aplicações de precisão, impõe-se medição por meio de sensores, onde os principais são os *encoders*, tacogeradores e *resolvers*.

O modelo de servomotor deste projeto trabalha com o terceiro tipo de sensor, o *resolver*. Este é composto por transformadores de alta frequência, entre 5 e 10kHz, onde o enrolamento primário está situado no rotor e existem dois enrolamentos secundários em quadratura no estator, como mostrado na figura 2.3.

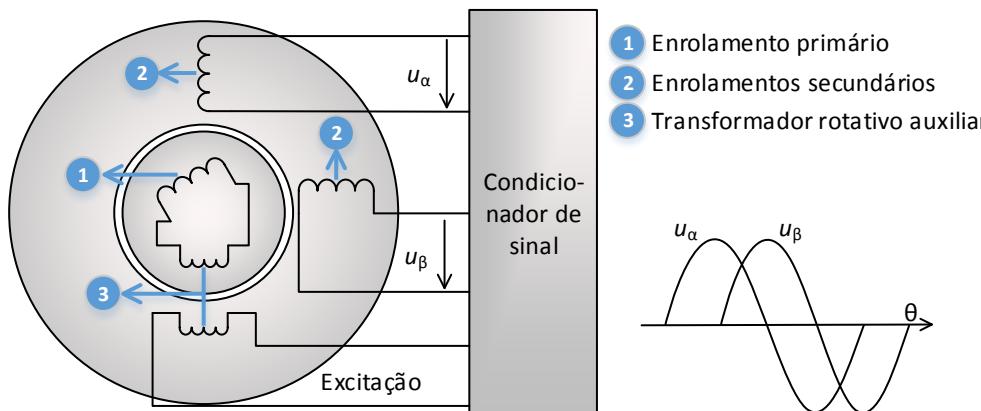


Figura 2.3: Esquema de um *resolver*.

As amplitudes e fases das tensões induzidas nos enrolamentos secundários têm seus valores determinados em função da posição do rotor. Um circuito condicionador processa as tensões induzidas nos enrolamentos secundários, fornecendo uma tensão proporcional à posição.

2.2.2 Características Construtivas

O servomotor é uma máquina síncrona composta por uma parte fixa, o estator, e outra móvel, o rotor, assim como outras máquinas deste tipo. Em uma máquina síncrona comum, uma corrente alternada flui no enrolamento de armadura e uma excitação CC é fornecida ao enrolamento de campo do rotor[5].

Mas o servomotor difere de máquinas síncronas normais, pois seu rotor é composto por ímãs permanentes dispostos linearmente e um gerador de sinais que fornece os sinais de velocidade e de posição, o *resolver*, apresentado anteriormente.

Os servomotores mais modernos são construídos com ímãs de terras-raras, como exemplo deste tipo de material pode-se citar o Neodímio-Ferro-Boro (Nd-Fe-B) e o Samário-Cobalto (Sm-Co). Estes são os novos materiais magnéticos que contribuem para a evolução tecnológica deste tipo de máquina elétrica.

Suas características incluem elevado magnetismo remanente e altas forças coercitivas superiores a outros materiais. O produto entre a densidade de fluxo magnético (B) e intensidade de campo magnético (H), dados pelas curvas de magnetização, é inversamente proporcional ao volume necessário para construção de um circuito magnético[4].

Em comparação a circuitos magnéticos confeccionados com materiais antigos como minério de ferro magnetizado ou ferrita, os novos materiais requerem menor

volume para construção dos motores pois possuem o produto $B \times H$ superiores aos materiais tradicionais e praticamente não podem ser desmagnetizados acidentalmente por elevadas correntes de curto. Estes motores apresentam uma razão potência/volume superior a dos motores CC e dos motores de indução.

Por se tratar de uma máquina síncrona, o servomotor não pode ser ligado diretamente a rede mesmo sendo uma máquina que utiliza alimentação trifásica, pois não possui partida própria.

Quando a máquina é ligada, o rotor se encontra em repouso e seu campo magnético é estacionário, enquanto o campo do estator gira em velocidade síncrona. Dessa forma, o torque resultante também é nulo e não é possível haver movimento do rotor, que ocorre com o sincronismo de velocidade entre os dois campos[6].

Para a partida do MSIP, pode-se aumentar gradualmente a frequência de alimentação de forma que a velocidade do campo do estator também aumentará gradualmente, e a do rotor acompanhará em seguida.

Outra possibilidade é utilizar uma partida mecânica inicial que coloque o rotor em movimento, permitindo que a velocidade de seu campo magnético passe a acompanhar a velocidade do campo do estator[6].

O servomotor utilizado é uma máquina fechada, sem ventilação e flangeado. Possui como componentes um sensor chamado de *resolver*, para realimentação de controle, termistores no estator para proteção contra sobretemperatura e retentor no eixo para impedir penetração de óleo.

Para melhor compreensão da utilização deste tipo de máquina para o servoacionamento, pode-se fazer uma rápida análise e comparação com outro tipo de máquina que pode desempenhar função semelhante, motores do tipo *brushless*, ou seja, sem escovas.

Neste tipo de máquina o sensor é mais simples que o *resolver* do SWA, pois possuem distribuição de densidade de fluxo e tensões de fase trapezoidais, logo a corrente tem apenas dois estados[7].

Uma vantagem da máquina sem escovas é que não há limite de comutação mecânica em relação à velocidade necessária para algum valor de torque desejado. Além disso, as perdas ôhmicas ocorrem no estator ao invés do rotor, permitindo melhor circulação de ar para diminuir o aquecimento excedente[7].

Já na MSIP, as tensões e correntes têm forma senoidal com torque suave, necessitando de um sensor mais elaborado que no caso *brushless*. A vantagem neste tipo é o menor valor de ondulação do torque em regime permanente, o que torna este tipo de motor mais adequado que o *brushless* para aplicações de alta precisão[8].

Por fim, pode-se listar outras características dos servomotores SWA:

- Força contra-eletromotriz senoidal;
- Rotação suave e uniforme em todas as velocidades;
- Baixo nível de ruído e vibração;
- Ampla faixa de rotação com torque constante;
- Elevada capacidade de sobrecarga;
- Imãs de terras raras (Nd-Fe-B);
- Baixa inércia devido ao baixo volume;
- Realimentação por *resolver*;
- Resposta dinâmica rápida.

2.3 Descrição do Servoconversor

Como parte constituinte do servoacionamento temos ainda, além do servomotor, o servoconversor. O objetivo deste equipamento é ser um produto de alta performance que permite o controle de velocidade, torque e posição de servomotores de corrente alternada trifásicos.

Sua característica central é o alto desempenho e alta precisão de controle do movimento do eixo do servomotor devido à operação em malha fechada através da realimentação de posição dada pelo sensor dentro do servomotor[9].

O controle de equipamentos para acionamentos industriais é comumente realizado por intermédio de um microprocessador, que carrega em si um programa armazenado. Além das funções de controle, é comum também que este processador tenha funções de comunicação com o operador e com outros dispositivos.

Para os servoconversores, o tipo mais apropriado de processadores são os microcontroladores, pois estes possuem em uma mesma pastilha de silício a unidade central de processamento (CPU), circuitos de memória e circuitos auxiliares dedicados a funções de entrada e saída, tais como conversão analógico-digital e saídas digitais moduladas por largura de pulso (PWM)[4].

Em uma aplicação de controle de servoacionamento, o microcontrolador é responsável por diversas tarefas de tempo real, listadas a seguir:

- Aquisição de sinais de posição e velocidade para fins de controle, através de interfaces digitais para sensores do tipo *resolver* ou *encoder*;
- Aquisição de sinais de corrente para fins de controle e proteção (conversão analógico/digital);
- Execução de algoritmo de controle de velocidade ou posição;
- Execução de algoritmo de controle em coordenadas síncronas (d-q);
- Cálculo de valores de referência para PWM das tensões produzidas pelo conversor.

O servoconversor utilizado foi adquirido pelo *Laboratório de Máquinas Elétricas*, sendo o modelo SCA06, também da WEG Automação, próprio para controlar o modelo de servomotor apresentado anteriormente.

O objetivo principal deste trabalho é recuperar a bancada didática de acionamento do servomecanismo em questão, a partir da substituição do servoconversor SCA04 defeituoso pelo recentemente adquirido SCA06. Portanto, adaptações das conexões elétricas serão necessárias para que se utilize o novo modelo corretamente.

Os conectores de cada equipamento, apesar de possuírem funções e objetivos semelhantes, são suficientemente diferentes para exigir uma adaptação trabalhosa. Por isso, características de *hardware* e *software* do SCA06 precisam ser estudados.

A figura 2.4 mostra no servoconversor a posição de cada conector, e na seção 2.3.1 tem-se descrição individual detalhada.

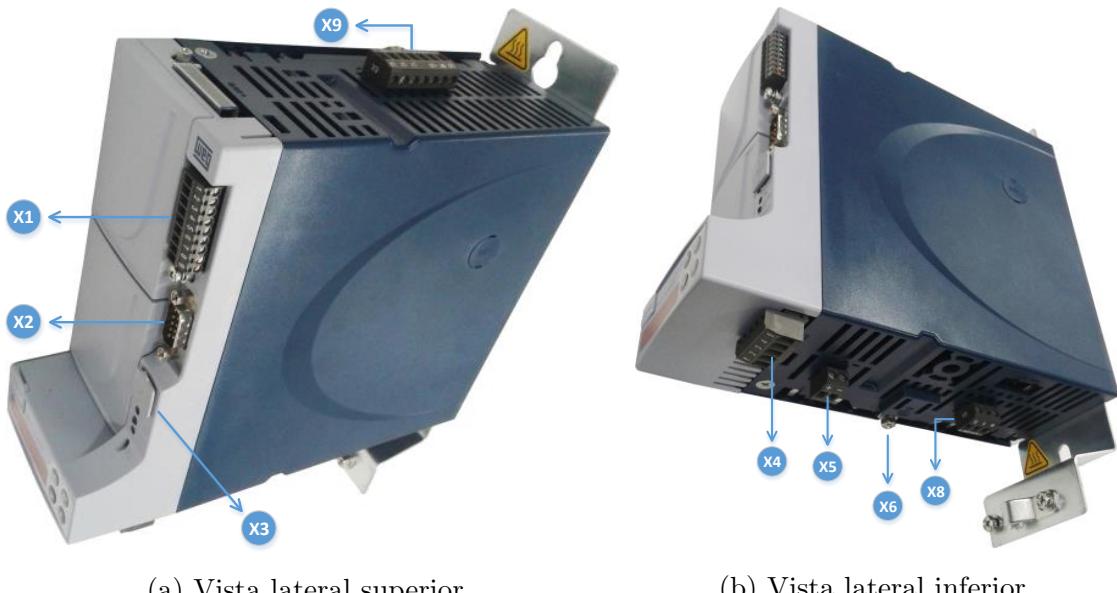


Figura 2.4: Vistas gerais do SCA06 mostrando a posição dos conectores.

2.3.1 Conectores do SCA06

Esta seção descreve e explica cada conector que o novo servoconversor, o SCA06, possui. A tabela 2.1 é um quadro comparativo entre os conectores de ambos os modelos de servoconversor, utilizando a nomenclatura determinada pela WEG.

Tabela 2.1: Comparativo de conectores do SCA04 e do SCA06.

Conecotor	SCA04	SCA06
X1	Sinais de Controle	Sinais de Controle
X2	Sinais de Resolver	Sinais de Resolver
X3	Simulação de Encoder	USB
X4	Interface Serial	Rede CAN
X5	Potência e Motor	Alimentação da Eletrônica
X6	N/A	PE
X7	N/A	STO
X8	N/A	Alimentação do Motor
X9	N/A	Alimentação de Potência

X1 - Entradas e Saídas do Controle

O conector X1 encontra-se na parte frontal do SCA06, e nele são ligadas as entradas e saídas analógicas e digitais, cujos pinos e funções são mostrados na tabela 2.2.

Tabela 2.2: Pinagem e funções do conector X1 de entradas e saídas do controle.

X1	Descrição	Função
1	C	Saída digital 1 a relé
2	COM	Entradas digitais optoacopladas 1 e 2
3	Dl1	Entrada digital 3
4	Dl2	optoacoplada
5	COM 1,2	Entrada analógica 1 diferencial
6	Dl3	Entrada analógica 1
7	COM3	diferencial
8	Al1 +	
9	Al1 -	

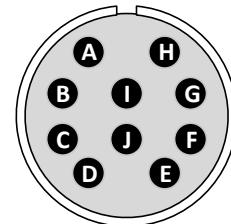
X2 - Entrada de Realimentação de Posição por Resolver

Este conector também se encontra na parte frontal do servoconversor. Sua função é informar a posição exata do eixo do servomotor, transmitindo os

sinais de realimentação provenientes do *resolver* do servomotor. As pinagens e funções podem ser vistas na figura 2.5 e na tabela 2.5.



(a) Conector X2 no servoconversor.



(b) Conector X2 no servomotor.

Figura 2.5: Pinagens do conector X2 no servoconversor (a) e no servomotor (b).

Tabela 2.3: Pinagem e funções do conector X2 de realimentação de posição.

Motor	Função	SCA06
A	-COS	1
B	+COS	7
C	+SIN	8
D	GND	9
E	-SIN	3
F	+OSC	5
G	+5 V	2
H	PTC	6
I	Não conectado	Blindagens internas
J	Blindagens externas	Carcaça

X3 - Porta USB

O conector X3, localizado ainda na parte frontal, é uma porta USB que permite que o servoconversor se comunique com um computador, sendo possível a leitura e escrita de parâmetros além também de *download* e monitoração do programa do usuário.

X4 - Rede CAN

Esta interface é uma rede de comunicação isolada, CAN se refere a “*Controller Area Network*” e o conector se encontra logo abaixo da IHM do servoconversor.

X5 - Alimentação da Eletrônica

Encontra-se na parte inferior do servoconversor e pode ser visto na figura 2.6a. Esta alimentação de controle deve ser feita separadamente da alimentação de potência, através de uma fonte externa de 24 V_{cc} , figura 2.6b.

Dessa forma, é possível desligar a etapa de potência do servoconversor sem perder a comunicação do mesmo com outros equipamentos ligados em rede.

Existem modelos de servonconversores que possuem internamente essa fonte em sua construção. O SCA06 necessita de fonte externa.



(a) Imagem do conector X5.



(b) Fonte externa de tensão $24V_{cc}$.

Figura 2.6: Conector X5 (a) e fonte externa de tensão (b).

X6 - Aterramento do Servomotor (PE)

O aterramento do servomotor é feito através de um parafuso aterrado, localizado na parte inferior, próximo ao conector de alimentação X8, melhor visto na figura 2.4b.

X7 - Conector de Comando de STO

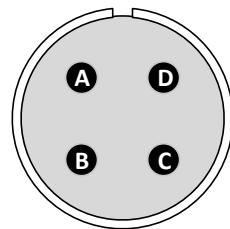
O STO é uma função de segurança, disponível em alguns modelos.

X8 - Conexão do Servomotor

Esta conexão fica próxima da alimentação da eletrônica, também na parte inferior do servoconversor. O conector possui três saídas, U, V e W, sendo assim cada uma das fases que alimentará o servomotor. O cabo conectado no servomotor, além das três fases U, V e W, possui um contato para o terra.



(a) Conector X8 no servoconversor.



(b) Conector X8 no servomotor.

Figura 2.7: Pinagens do conector X8 no servoconversor (a) e no servomotor (b).

X9 - Alimentação de Potência

No topo do servoconversor, encontra-se a conexão da alimentação da rede, figura 2.8. A tensão da rede deve ser CA com 220V por fase, ligada nos bornes L1, L2 e L3.

Neste conector, ainda é possível ligar um resistor de frenagem. O uso de resistores de frenagem possibilita tempos de frenagem muito reduzidos otimizando processos que exigem desempenho elevado.

Todas as funções dos conectores estão na tabela .



Figura 2.8: Imagem do conector X9.

Tabela 2.4: Pinagem e funções do conector X2 de realimentação de posição.

Pino	1	2	3	4	5	6
Função	-UD	BR	+UD	L1	L2	L3

2.3.2 Interface Homem Máquina

O controle do servoconversor SCA06 é feito através da Interface Homem Máquina (IHM). Nesta, um visor eletrônico com seis dígitos mostra diversas informações para que o usuário tenha conhecimento daquilo que estiver configurando. Além do visor existem quatro teclas para o controle e configuração do servoconversor[9].

A IHM se encontra no próprio servoconversor mas pode-se, através da utilização do módulo de expansão ECO4 conectar o SCA06 a uma IHM localizada no exterior da bancada, em sua parte frontal, como era feito com o SCA04. Dessa forma, não é necessário abrir o painel da bancada para se operar a IHM. A figura 2.9 mostra a IHM do SCA06.



Figura 2.9: Ilustração da IHM e identificação das teclas.

As funcionalidades das teclas são bem simples e resumidas na tabela 2.5, e descritas em sequência.

Tabela 2.5: Funcionalidades da IHM.

Identificação	Funcionalidade
1	Indicação de comunicação USB
2	Indicação de alimentação da potência ligada
3	Indicação de falha
4	Tecla RESET
5	Tecla incrementa
6	Tecla decrementa
7	Tecla PROG
8	Tecla SHIFT
9	Visor eletrônico com 6 dígitos
10	Cartão de memória flash

4 - Tecla RESET

Reinicializa o programa do controle, o mesmo efeito pode ser obtido ao desligar e religar o servoconversor.

5 - Tecla Incrementa

Utilizada para navegar de forma crescente pela lista de parâmetros ou para incrementar o valor do respectivo parâmetro.

6 - Tecla Decrementa

Utilizada para navegar de forma decrescente pela lista de parâmetros ou para decrementar o valor do respectivo parâmetro.

7 - Tecla PROG

Utilizada para alterar o modo dos parâmetros e/ou validar os valores alterados.

8 - Tecla SHIFT

Utilizada para retornar do modo Exibição para o modo Busca ou para selecionar o dígito a ser alterado.

Para se acostumar melhor com a IHM do SCA06, é necessário conhecer e estudar os principais parâmetros de configuração do servoconversor, que serão comentados mais a frente neste trabalho.

Com o intuito de evitar uma configuração excessivamente exaustiva, já que através da IHM deve-se navegar pelos parâmetros de um em um, é possível utilizar um programa desenvolvido pela WEG Automação para conectar o servoconversor, através de sua comunicação USB, com um computador.

Através do programa *SuperDrive* pode-se configurar diversos parâmetros de forma mais simplificada e gravá-los de uma só vez na memória do servoconversor. Mais adiante, uma breve explicação do programa também será feita para auxiliar trabalhos futuros de alunos que não possuírem familiarização com o mesmo.

2.4 Aplicações Típicas

As aplicações de um servomotor exigem deste dinâmica, controle de rotação, torque constante e precisão de posicionamento.

Portanto, as características mais desejadas nos servomotores são o torque constante considerando uma larga faixa de rotação, uma larga faixa de controle da rotação e alta capacidade de sobrecarga[3].

Torno de Superfície / Laminador Desfolhador

Neste tipo de aplicação a velocidade superficial entre uma determinada peça e uma ferramenta de corte tem de ser constante.

O torque varia inversamente com a rotação para obedecer a condição de que a velocidade tangencial da peça ou cilindro seja sempre constante.

O servoconversor deve ser programado no modo torque para o controle correto do servomotor.

Sistemas de Transporte

Alguns dos sistemas de transporte são constituídos por esteiras, correias, correntes, mesas transportadoras, entre outros. Dependendo do tipo de transporte, os sistemas podem ser agrupados de acordo com o seu tipo de movimento, que pode ser rotacional ou linear, por exemplo.

Pode ser desejável manter a velocidade constante, o que se obtém através da informação ao servoconversor de uma referência de velocidade desejada.

Dependendo do tipo de transporte, a característica exigida pode ser o posicionamento, cujo controle está baseado no sentido de giro e no passo de deslocamento.

Existe um cuidado que deve ser tomado neste tipo de aplicação, pois é usual que a condição de partida do sistema seja com carga, o que resultará em torque resistente elevado, devendo-se atentar a sobrecarga inicial do sistema.

Além disso, em sistemas com transporte inclinado em elevação ou declive, há ainda maior preocupação com a condição de sobrecarga do servomotor e a necessidade de uma frenagem reostática.

É importante atentar também que para transportes inclinados ou verticais deve-se utilizar servomotores com freio eletromagnético para que não haja movimentação do sistema em situações de falta de energia.

Trefilas

A trefilação é o processo de fabricação de arame e barras finas de metal e tem diversas aplicações como produção de fios elétricos, cabos, clipe de papel, corda para instrumentos musicais e raio para rodas.

O processo consiste em puxar o metal através de uma matriz, por meio de uma força de tração a ele aplicada na saída da matriz. Exigindo então a característica de torque constante para qualquer velocidade.

Pode haver condição de sobrecarga na partida quando da introdução do material a ser trefilado. Além disso, deve-se haver cuidado especial em situações que o sistema de trefilação é acionado por mais de um servomotor, exigindo precisão na velocidade, sincronismo e controle de carga.

Misturadores

É comum que em processos de mistura as características do material se modifiquem em função de temperatura, viscosidade e pressão por exemplo, portanto não é possível determinar uma característica particular do torque resistente. Cada caso deverá ser avaliado individualmente e criteriosamente.

Bobinadores / Desbobinadores

Em muitos setores industriais como indústrias de papel, plásticos, chapas de metal ou indústria têxtil, os materiais em rolos devem ser desbobinados para processamento e rebobinados em seguida.

Os bobinadores/desbobinadores são classificados em axiais e tangenciais. O primeiro tipo é acionado diretamente pelo eixo da bobina, tendo como característica o torque variando inversamente com a rotação, pois a velocidade superficial do rolo da bobina ou do material bobinado deve ser constante.

No segundo tipo, o acionamento do rolo bobinador é indireto, sendo feito por um ou mais rolos de suportes auxiliares, com torque constante.

Alimentação de Tiras em Prensas

A alimentação automática de uma prensa envolve dois principais parâmetros de controle: o sincronismo entre a velocidade da tira oriunda da máquina de desbobinamento e a velocidade de entrada na prensa; sincronismo entre o posicionamento da tira e a ação mecânica da ferramenta de corte.

Fresagem

A fresagem é um processo de usinagem mecânica e consiste na retirada do excesso de metal da superfície de uma peça. Essa remoção é feita pela combinação de dois movimentos efetuados ao mesmo tempo, o de rotação da ferramenta e o movimento da mesa da máquina.

Esta aplicação tem como característica a necessidade de se manter a velocidade de retirada de material constante, e na maioria das vezes exige grande precisão para um melhor acabamento da peça trabalhada.

Sistemas de Dosagem

Os sistemas dosadores podem necessitar de um controle preciso de quantidade, volume ou vazão, sendo necessário a utilização de um servoacionamento.

Nestes sistemas, a quantidade a ser fornecida é precisa e o controle de velocidade do dosador é feito através do servoconversor. A velocidade é determinada em função de parâmetros do processo como corrente, pressão, vazão temperatura, entre outros, através de um sistema de realimentação em malha fechada com operação automática.

Ficam assim resumidas algumas das principais aplicações de servoacionamentos. Deve-se sempre manter em mente que sua principal característica é uma performance confiável de alta precisão, e que o nome deste tipo de acionamento vem de *servir*, o servomotor é considerado um *servo* cuja função é atender todas as exigências de seu mestre, o usuário.

Capítulo 3

Instalação Mecânica

3.1 Instalação Mecânica

A instalação mecânica do SCA06 exige alguns cuidados, mas não apresenta grandes problemas em termos da substituição do SCA04 pelo SCA06, pois a bancada utilizada já levava em consideração os cuidados necessários.

As condições mecânicas devem evitar[9]:

- Exposição direta a raios solares, chuva, umidade excessiva ou maresia;
- Gases ou líquidos explosivos ou corrosivos;
- Vibração excessiva;
- Poeira, partículas metálicas ou óleo suspensos no ar.

Outras condições que devem ser observadas, e são permitidas, são as seguintes[9]:

- Temperatura ambiente de 0 a 50°C em condições nominais;
- Temperatura ambiente de 50 a 60°C com redução de corrente de 2% para cada grau Celsius acima de 50°C;
- Umidade relativa do ar de 5 a 90% sem condensação;
- Altitude máxima de ate 1.000 m em condições nominais;
- De 1.000 a 4.000 m com redução de corrente de 1% para cada 100 m acima de 1.000 m de altitude;
- Grau de poluição índice 2 conforme EN50178 e UL508C com poluição não condutiva.

A bancada didática se encontra no *Laboratório de Máquinas Elétricas* da UFRJ, portanto não se encontra sob influência de condições climáticas. O servomotor é fixado na bancada através de parafusos e impede a vibração do conjunto. As fotos da figura 3.1 mostram a bancada no local de utilização.



Figura 3.1: Bancada didática aberta (a), sua disposição externa de chaves (b) e servomotor fixado na parte inferior (c).

O SCA06 deve ser instalado na posição vertical, como visto na figura 3.1a na parte superior a direita da bancada, e deve-se considerar o peso do mesmo, que é consideravelmente mais leve que o SCA04. Existem instruções para instalação de servoconversores lado a lado, que não se aplica neste momento.

A parte superior do servoconversor elimina calor e não deve haver componentes sensíveis à temperatura sobre o equipamento. Além disso, para operação dentro da faixa de temperatura deve haver exaustão adequada já que o SCA06 encontra-se dentro do painel.

3.2 Funções do Servoacionamento

O principal objetivo da bancada didática montada com o SCA04 era a formação e o treinamento de técnicos na solução de problemas como por exemplo falta de referência de velocidade e falta de habilitação. Há também algumas outras funções como *stop plus* e resistor de frenagem, que não se encontram disponíveis atualmente.

O foco deste trabalho não é recuperar estas funções, mas sim deixar um funcionamento básico do servoacionamento para demonstrar as vantagens do mesmo. Para isso determinou-se funções prioritárias de referência analógica de velocidade, inversão do sentido de giro e medição analógica de velocidade.

Na figura 3.2, são apresentadas as fotos com as disposições externa e interna de chaves e componentes do painel. Serão listadas e brevemente comentadas todas as funções que o sistema com o SCA04 possuía, sendo indicada as funções que permanecerão disponíveis e indisponíveis.

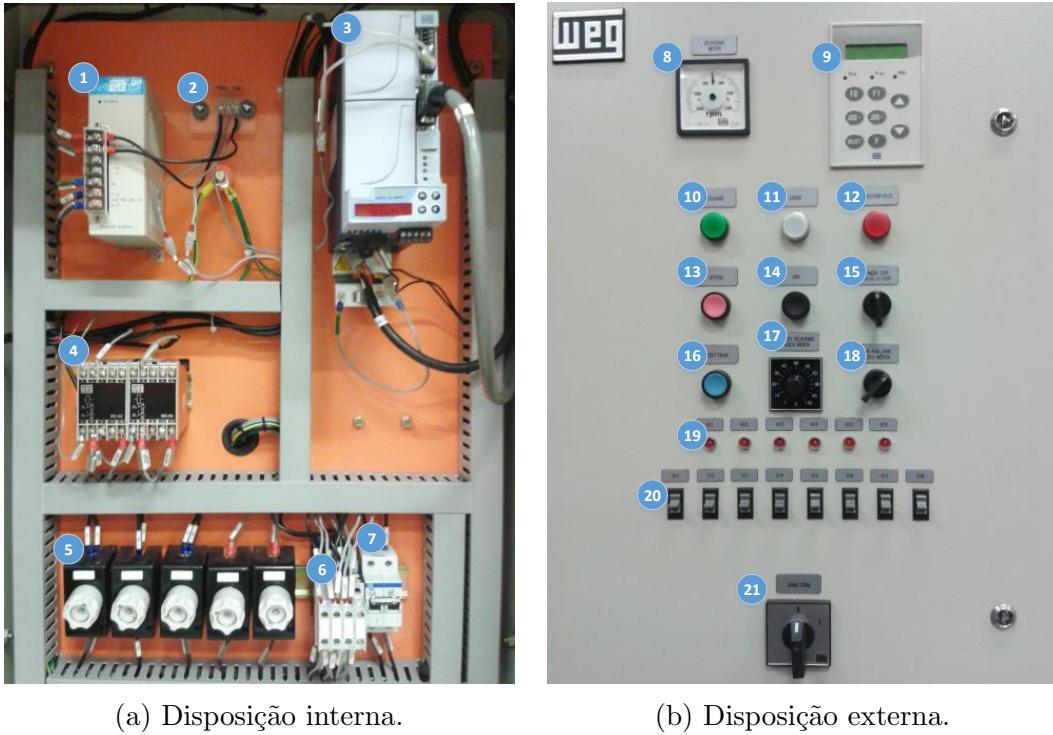


Figura 3.2: Bancada didática aberta (a) e fechada (b) para visualização de disposição de chaves e equipamentos.

As tabelas 3.2 e 3.1 relacionam a identificação dos equipamentos e funções, mostram a situação em que se encontram, disponível ou não, e a seção ou figura de referência neste trabalho.

Tabela 3.1: Identificação dos equipamentos e funções observadas na disposição interna.

Número	Equipamento / Função	Situação	Seção
1	Fonte externa de tensão $24V_{cc}$.	Disponível	2.3.1
2	Resistores de $1k\Omega$	Disponível	4.3
3	Servoconversor SCA06	Disponível	2.3
4	Módulo de chaveamento A45.1	Disponível	3.2
4	Módulo de chaveamento A45.2	Indisponível	3.2
5	Fusíveis de proteção F1 a F5	Disponível	3.2
6	Contadora tripolar K1	Disponível	3.2
7	Chave disjuntora Q4	Disponível	3.2

Tabela 3.2: Identificação dos equipamentos e funções observadas na disposição externa.

Número	Equipamento / Função	Situação	Seção
8	Medidor Analógico de Velocidade	Disponível	4.4
9	Interface Homem Máquina externa	Disponível	2.3.2
10	Luz indicativa de sistema desligado	Disponível	3.2
11	Luz indicativa de sistema ligado	Disponível	3.2
12	Luz indicativa da função <i>Stop Plus</i>	Indisponível	3.2
13	Botoeira para desligar	Disponível	3.2
14	Botoeira para ligar	Disponível	3.2
15	Chave da função <i>Stop Plus</i>	Indisponível	3.2
16	Botoeira para <i>reset</i> de falha	Indisponível	3.2
17	Referência Analógica de Velocidade	Disponível	4.2
18	Inversão do Sentido de Giro	Disponível	4.3
19	Luzes indicativas das falhas	Indisponível	3.2
20	Chaves de conserto de falhas	Indisponível	3.2
21	Chave geral de alimentação	Disponível	3.2

1 - Medidor Analógico de Velocidade

É um ponteiro medidor que deve ser alimentado com tensão proporcional à velocidade do motor, se trata de um galvanômetro composto por uma bobina de um fio muito fino montada em um eixo móvel, instalada entre os polos de um ímã fixo.

Quando circula corrente elétrica pela bobina, o campo magnético formado interage com o campo do ímã, fazendo um ponteiro preso à bobina se movimentar de forma proporcional à intensidade da corrente elétrica que a percorre.

2 - Interface Homem Máquina externa

A IHM é uma interface de operação do sistema, permitindo que o usuário realize a programação do servoconversor, este pode enviar para o visor informações como alarmes de falhas para visualização do usuário.

3 - Luz indicativa de sistema desligado

Luz que indica quando o sistema está desconectado da alimentação trifásica da rede.

4 - Luz indicativa de sistema ligado

Luz que indica quando o sistema está conectado à alimentação trifásica da rede.

5 - Luz indicativa da função *Stop Plus*

A luz indica se a função *Stop Plus* está acionada, esta função faz com que o motor siga uma rampa de velocidade ajustada através de um parâmetro de programação até atingir a velocidade de referência, sendo mantida até a desaceleração que segue rampa também ajustada através de parâmetro, até parar e travar o eixo na referência de posição determinada pela função baseado na distância percorrida e posição inicial.

6 - Botoeira para desligar

Botão que desconecta o sistema da alimentação trifásica da rede.

7 - Botoeira para ligar

Botão que conecta o sistema à alimentação trifásica da rede.

8 - Chave da função *Stop Plus*

Chave para ativar a função *Stop Plus*.

9 - Botoeira para *reset* de falha

Botão para reiniciar o servoconversor quando se está tentando resolver as falhas impostas pelo instrutor. Função não recuperada por não se tratar do foco deste trabalho.

10 - Referência Analógica de Velocidade

A referência analógica de velocidade se dá através de um potenciômetro, que fornece uma tensão variável como a referência externa para que o servoconversor, devidamente programado, possa realizar o controle digital.

11 - Inversão do Sentido de Giro

A chave de inversão de sentido de giro serve para que se possa rapidamente inverter o sentido sem a necessidade de acessar, através da IHM, o parâmetro que permite esta operação.

12 - Luzes indicativas das falhas

Estas luzes indicam informações de falhas ativadas para que o operador em treinamento possa identificá-las e resolvê-las. Função não recuperada por não se tratar do foco deste trabalho.

13 - Chaves de conserto de falhas

Uma vez identificada a falha imposta ao operador em treinamento, o mesmo deve ativar estas chaves que atuam sobre as conexões, para que a falha seja solucionada. Função não recuperada por não se tratar do foco deste trabalho.

14 - Chave geral de alimentação

A chave geral desconecta todo o sistema da alimentação trifásica da rede, desligando em conjunto a alimentação de potência de controle.

15 - Fonte externa de tensão $24V_{cc}$.

O servoconversor necessita, além de alimentação trifásica da rede, alimentação de seu controle através de uma fonte de tensão CC.

16 - Resistores de $1k\Omega$

Estes resistores foram necessários para contornar o problema de que o SCA06 não disponibiliza uma saída de $\pm 10V$ para alimentação do potenciômetro como o SCA04.

Como solução, estes resistores foram utilizados para dividir a tensão da fonte externa de tensão $24V_{cc}$ em $\pm 12V$.

17 - Servoconversor SCA06

Este é o novo servoconversor que substituiu o antigo modelo defeituoso SCA04.

18 - Módulos de chaveamento A45

Estes módulos, modelo MC-02 da WEG, permitem alternar conexões. A chave A45.1 é responsável por alternar a alimentação do potenciômetro entre $-12V$ e $+12V$, viabilizando a inversão do sentido de giro.

A chave A45.2 permitia o instrutor impor a falha de falta de fase, alternando a conexão da alimentação normal da rede para uma conexão sem as fases A e B, ocasionando a fala. Esta função não foi recuperada.

19 - Fusíveis de proteção F1 a F5

Os fusíveis de proteção F1 a F3 ficam entre a rede trifásica e a chave geral, protegendo todo o sistema de eventuais problemas na rede.

Os fusíveis F4 e F5 ficam entre a fonte de $24V_{cc}$ e os sinais de controle do SCA06, protegendo o servoconversor de problemas oriundos da fonte externa.

20 - Contadora tripolar K1

A contadora K1, modelo CWM9.32 da WEG, é responsável por ligar e desligar o sistema através das botoeiras de liga e desliga. Ela possui as devidas bobinas e temporizadores, mostrados no diagrama de comando do apêndice B, para realizar a função de liga/desliga de forma segura.

21 - Chave disjuntora Q45

Este disjuntor fica entre a rede trifásica e a fonte de $24V_{cc}$, para proteção da fonte de problemas na rede. O disjuntor possui relé térmico e relé eletromagnético de sobrecarga.

3.3 Módulos de Expansão

Uma clara desvantagem do servoconversor SCA06 em relação ao seu antecessor SCA04 pode ser observada nas opções do conector X1 de sinais de controle.

É notória que a quantidade de opções foi bastante reduzida e algumas funções retiradas. A quantidade de entradas e saídas digitais é um exemplo da menor gama de conexões, enquanto entradas e saídas analógicas foram drasticamente alteradas.

Para contornar essa deficiência, são disponibilizados pela WEG Automação os módulos de expansão, que podem ser conectados ao SCA06 fornecendo assim novas opções de utilização.

No momento da realização deste trabalho, a WEG já havia desenvolvido 9 módulos de expansão, dos quais apenas 2 eram interessantes para realização deste trabalho e foram adquiridos pelo *Laboratório de Máquinas Elétricas*.

Existem 3 possíveis *slots* de encaixe para estes módulos opcionais, que são de fácil conexão no SCA06 utilizando tecnologia *plug and play*, ou seja, são reconhecidos e instalados automaticamente pelo servoconversor.

Os dois módulos escolhidos são necessários para recuperar dois importantes equipamentos do funcionamento anterior, a IHM externa e o Medidor Analógico de Velocidade. Os módulos são brevemente apresentados a seguir.

Módulo de Expansão de Saídas Analógicas - EAN2

Pode ser instalado em qualquer *slot* e tem a seguinte característica:

- 2 saídas analógicas com excursão de $-10V$ a $+10V$ e resolução de 12 bits.

Assim, pode-se configurar o módulo, visto na figura 3.3, para o uso pretendido como saída analógica de velocidade para conexão com o medidor analógico na parte exterior do painel.



Figura 3.3: Módulo de Expansão de Saídas Analógicas - EAN2.

Módulo de Expansão de Comunicação Ethercat - ECO4

Pode ser instalado somente no *slot* 2 e tem a seguinte característica:

- 1 interface *Ethercat* com 2 entradas para conectores RJ45.

Com um cabo padrão *Ethercat*, é possível conectar a IHM externa ao SCA06.

Instalados os módulos, deve-se conferir nos parâmetros P0091, P0092 e P0093 o código de identificação dos *slots* 1, 2 e 3, respectivamente. Os códigos dos módulos utilizados são mostrados na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Código de identificação dos acessórios utilizados.

Acessório	Código
Sem acessório	00000
EAN2	00032
ECO4	02048

Capítulo 4

Instalação Elétrica

4.1 Instalação Elétrica do Servoconversor

A parte principal do trabalho prático realizado consiste na adaptação da bancada, originalmente instalado e configurado para utilização do SCA04, para utilização do SCA06. Ao iniciar o estudo do SCA06 e suas conexões, com a instalação elétrica exigida é possível perceber que é necessário muito cuidado com todas as conexões e adaptações.

Algumas observações podem ser feitas em relação aos conectores, iniciando pelo X2, utilizado para a conexão dos sinais de *resolver*, idênticos nos dois modelos.

No SCA06, os conectores X5, X8 e X9 são utilizados respectivamente para as alimentações da eletrônica, do motor e da potência, já explicados na seção 2.3.1, os quais faziam parte de um único conector no SCA04, o X5.

Estes foram apenas separados de um modelo para o outro e, além de um adequado cuidado em suas identificações, não apresentam nenhuma complicação na conexão do novo servoconversor.

A alimentação de potência é realizada através do conector X9, onde os pinos 4, 5 e 6 referentes às funções L1, L2 e L3 respectivamente, visualizados na figura 2.8, recebe a conexão da rede externa trifásica, sendo esta a operação atual.

Com a devida programação do SCA06, uma alternativa é utilizar 2 fases em alimentação monofásica. Ocorre uma redução de corrente nominal de saída de 5 para 4 ampères[9] com a tensão de alimentação CA conectada de forma monofásica, em dois de quaisquer dos bornes de entrada L1, L2 e L3.

Portanto, a maior problemática se apresenta no conector X1, de sinais de controle, que é muito diferente nos dois equipamentos. As funcionalidades são basica-

mente as mesmas, mas no SCA06 existem menos conexões em comparação ao SCA04 por trabalhar com módulos de expansão.

Como complementação, instruções técnicas mais específicas de proteção, cabos, entre outros, podem ser consultadas diretamente dos manuais do equipamento.

4.2 Referência Analógica de Velocidade

O SCA06 possui dentro de sua vasta gama de parâmetros de programação os controladores PID de velocidade, PI de corrente e P do regulador de posição, cujos ganhos podem ser ajustados manualmente para otimizar a resposta dinâmica de velocidade e a resposta dinâmica de posição através da programação dos respectivos parâmetros[10].

Por se tratar de um sistema em malha fechada com controlador PID, a resposta à entrada de referência tende a erro zero em regime permanente devido à parcela Integral, que pode levar o sistema à instabilidade devido a introdução de um polo na origem. O controle proporcional também reduz o erro e causa instabilidade com ganhos elevados, o controle derivativo atua para melhorar a estabilidade[11].

A figura 4.1 mostra o diagrama de blocos do controle de um MSIP, que é feito por meio de malhas em cascata. As malhas mais internas controlam as variáveis com dinâmica mais rápida, sendo que à malha mais interna de controle de corrente sobrepõe-se uma malha de controle de velocidade e a esta, uma malha de controle de posição.

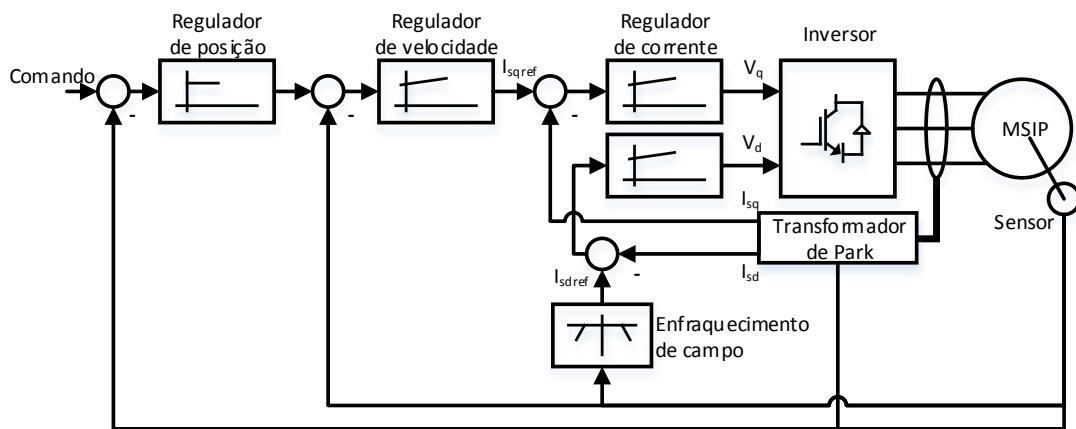


Figura 4.1: Diagrama de blocos do controle em cascata de um MSIP.

Portanto, pode-se programar uma determinada velocidade de referência no servoconversor que o servomotor terá aquela velocidade exatamente.

Para fazer uso da referência analógica de velocidade é interessante usar um potenciômetro, visto na figura 4.2, cuja tensão de saída servirá como a referência externa de velocidade.



(a) Botão de ajuste do potenciômetro.



(b) Conexões do potenciômetro.

Figura 4.2: Vistas das partes frontal (a) e anterior (b) do potênciometro de $5k\Omega$.

Conforme a tensão do potenciômetro varia, o servomotor quando corretamente configurado terá sua velocidade variando de 0 a 2.000 ou -2.000 rpm. Para isso é necessário alimentar a entrada analógica 1 nos pinos 8 e 9 do conector X1 com a tensão variável do potenciômetro.

4.3 Inversão do Sentido de Giro

Uma interessante demonstração da vantagem do controle em malha fechada é a inversão do sentido de giro do servomotor, que ocorre de forma visualmente instantânea. Para isso ocorrer a tensão de referência na entrada analógica 1 deve variar de -10 a 10 V.

Uma chave no painel, vista na figura 4.3, realiza a conexão para inversão de polaridade da tensão, invertendo então o sentido de giro.



Figura 4.3: Chave acionadora da inversão do sentido de giro, alternando entre horário e anti-horário.

Estudando-se o diagrama esquemático das conexões da bancada, chegou-se à configuração da figura 4.4 que permite o controle analógico de velocidade e a inversão do sentido de giro.

A rotação do potenciômetro em sentido anti-horário ($R3:CCW$ - *counter-clockwise*) diminui a velocidade do motor, enquanto a rotação em sentido horário ($R3:CW$ - *clockwise*) faz a velocidade aumentar. Deve-se alimentar o potenciômetro nos pontos extremos $R3:CCW$ e $R3:CW$ com $\pm 10V$ enquanto a tensão variável estará sobre os pontos $R3:CCW$ e $R3:S$.

Esta tensão variável, V_+ ou V_- indicada na figura irá alimentar a entrada analógica do servoconversor nos bornes AI:X1:8 (AI1+) e AI:X1:9 (AI1-).

A nomenclatura anterior do SCA04 foi mantida nos fios (que possuem etiquetas identificadoras) para facilitar a compreensão e saber a procedência de cada um, portanto AI:X1:6 e AI:X1:7 eram, no SCA04, os bornes da entrada analógica da referência de velocidade.

Na figura 4.4 já está indicada também a solução encontrada para o fato do SCA06 não possuir uma fonte interna de $\pm 10V$ como o SCA04. Foram utilizados dois resistores de $1k\Omega$ cada, para dividir em $\pm 12V$ a tensão da fonte de $24V_{cc}$, estando abaixo do limite superior de $14V$ indicado pelo manual do SCA06.

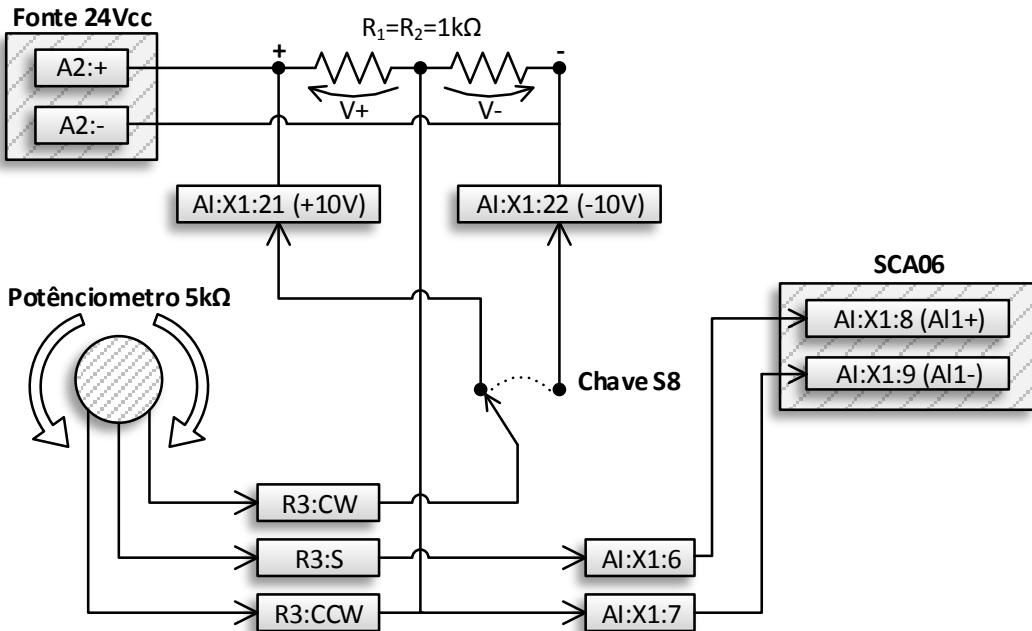


Figura 4.4: Configuração esquemática das conexões do potenciômetro.

Foram medidas as tensões envolvidas nesta solução. A tensão sobre cada resistor apresentou resultados diferentes pois os resistores não são, de fato, iguais. As medidas foram de 13 e $11V$, somando os $24V$ da fonte.

A chave S8 de inversão de sentido de giro quando acionada simplesmente troca a alimentação do potenciômetro entre V_+ e V_- que, em módulo, são as tensões de 13 e 11V medidas.

A tensão aplicada na entrada analógica sobre os pontos AI:X1:8 (AI1+) e AI:X1:9 (AI1-) varia então de 0 a 11V quando girando em sentido horário e de 0 a -11V quando em sentido anti-horário.

Quando o potenciômetro se encontra na posição de mínima resistência, que não chega a zero pois haveria um curto-círcuito, a tensão também é mínima e próxima de zero, sendo igual a uma referência de velocidade igual a zero.

Conforme a resistência sobe até a posição de resistência máxima igual a $5k\Omega$, tem-se duas resistências em paralelo, a de $1k\Omega$ colocada para se obter 12V e a resistência do potenciômetro, como mostra a figura 4.5.

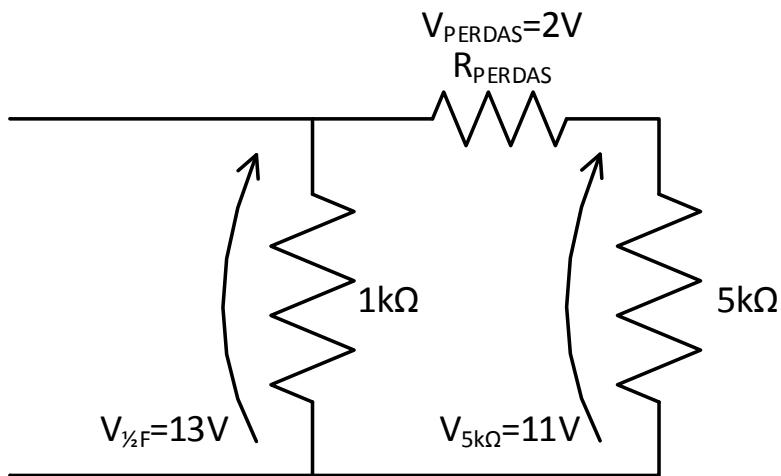


Figura 4.5: Circuito representativo da situação de máxima resistência no potenciômetro.

Como a resistência de $1k\Omega$ é menor que a máxima resistência do potenciômetro, a maior parte da corrente passará por ela. Mesmo assim, ainda haverá corrente passando no potenciômetro resultando então nessa queda de tensão. Essa pequena perda é representada na figura 4.5 pela resistência R_{PERDAS} , que ocorre provavelmente devido às conexões que passam por fusíveis e outros elementos passivos.

Desta forma, resolveu-se então o problema de utilizar o potenciômetro como referência externa de velocidade e a chave de sentido de giro no SCA06.

Na figura 4.6, é possível visualizar os resistores em detalhe, assim como as conexões feitas com a fonte de $24V_{cc}$.



(a) Conexão dos resistores com a fonte.

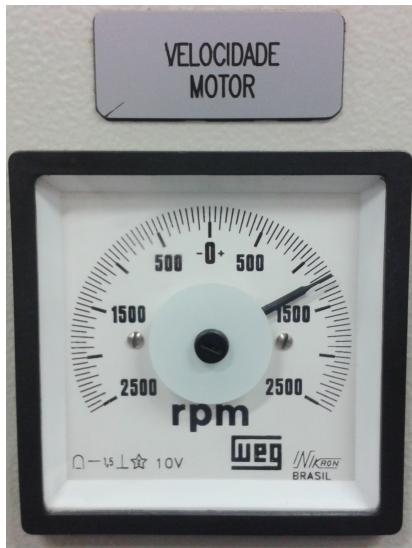


(b) Resistores em detalhe.

Figura 4.6: Resistores de $1k\Omega$ que dividem a tensão da fonte $24V_{cc}$.

4.4 Medidor Analógico de Velocidade

O medidor analógico de velocidade é um galvanômetro com um ponteiro que recebe uma tensão proporcional à velocidade da saída analógica nos bornes P1:+ e P1:-. O ponteiro medidor e os bornes de alimentação podem ser vistos nas fotos da figura 4.7.



(a) Ponteiro mostrando medida.



(b) Alimentação do medidor.

Figura 4.7: Vistas das partes frontal (a) e anterior (b) do medidor analógico de velocidade.

Lembrando que esta medida só pode ser feita de forma precisa utilizando o módulo de expansão EAN2, apresentado na seção 3.3, pois desta forma recebe-se do servoconversor uma medida correta da tensão proporcional à velocidade do motor.

Capítulo 5

Configuração do Servoconversor

5.1 Configuração do Servoconversor

O SCA06 possui extensos manuais de utilização, sendo os seguintes:

- Manual de Programação;
- Manual do Usuário;
- Referência Rápida dos Parâmetros, Falhas e Alarmes;
- Manual do *Software de Programação Ladder*.

O objetivo deste capítulo não é reproduzir inteiramente nenhum destes manuais, pois todos podem ser adquiridos gratuitamente através do *site* da WEG. A ideia é apresentar as configurações mais importantes e mais interessantes relacionadas a este trabalho.

O SCA06 funciona através da configuração dos valores de seus inúmeros parâmetros, que podem ser alterados diretamente através de sua IHM ou através dos *softwares* da WEG Automação:

- *SuperDrive G2 - Software de Parametrização de Drives*;
- *WEG Ladder Programmer (WLP) - Software de Programação Ladder*.

Neste trabalho serão dadas instruções básicas de funcionamento e dicas no formato passo a passo do programa *SuperDrive G2*, servindo como um tutorial que permite um aprendizado inicial.

Portanto, neste capítulo, haverá um resumo das configurações básicas para funcionamento correto do SCA06 considerando a instalação existente e apresentada nos capítulos 3 e 4.

5.2 Parâmetros de Operação

Existem alguns parâmetros prioritários que definem a operação do servoconversor, e o mesmo não irá funcionar sem a configuração correta destes, listados a seguir:

P0000 - Acesso aos Parâmetros

Este parâmetro deve receber uma senha, o valor 5, para permitir alteração dos parâmetros que não forem classificados como 'somente leitura'.

P0099 - Habilitação

Para habilitar ou desabilitar o servomotor, este parâmetro deve ser ajustado para 1 ou 0, respectivamente. A habilitação pode ser proveniente de diferentes fontes, mas não deve-se ter habilitação através de duas ou mais fontes simultaneamente.

P0385 - Modelo do Servomotor

Para correto funcionamento do servoconversor, o modelo de servomotor utilizado deve ser informado. Os valores possíveis vão de 1 a 99 e a lista no manual deverá ser consultado na hipótese de alteração do servomotor utilizado.

Na atual configuração, este parâmetro se encontra no valor 3, referente ao SWA 562-2.5-20 utilizado pela bancada.

P0202 - Modo de Operação

Ao configurar o Modo de Operação, o servoconversor ficará preparado para ser controlado por diversos tipos de dispositivos externos ligados às entradas analógicas e/ou digitais, no caso desta bancada, o dispositivo é o potenciômetro. O parâmetro pode ser ajustado para os seguintes valores:

- 1 = Modo torque;
- 2 = Modo velocidade (configuração atual);
- 4 = Modo *ladder* (controle de torque, velocidade ou posição);
- 5 = *CANopen* (controle de torque, velocidade ou posição);
- 6 = *Profibus DP*.

P0121 - Referência de Velocidade

Este parâmetro é muito importante, ainda mais se escolhido no P0202 o modo de operação por referência de velocidade. Os valores podem variar de -9.999 a +9.999, respeitando a velocidade nominal do servomotor, que no caso do SWA 562-2.5-20 é de 2.000 rpm.

O valor ajustado aqui, servirá como referência da velocidade de giro do servomotor.

Com estes 5 parâmetros configurados já é possível uma utilização básica do servoconversor e do servomotor. Na seção adiante serão apresentados parâmetros adicionais e suas respectivas configuração para as funcionalidades atuais do mecanismo.

5.3 Parâmetros de Regulação

Os parâmetros a seguir visam uma funcionalidade mais avançada do servoacionamento em questão, com o objetivo de retomar a utilização anterior quando era utilizado o SCA04.

P0111 - Sentido de Giro

A mudança de sentido de giro pode ser feita através deste parâmetro ou através de uma programação *ladder* que utilize entradas e saídas digitais.

A configuração atual faz a mudança de giro como já explicado na seção 4.3, para evitar que um usuário que desconheça o manual ou os equipamentos precise operar os parâmetros.

P0232 - Função da Entrada Analógica AI1

A função AI1 é referente à *Analogic Input 1*, ou seja, entrada analógica 1.

Este parâmetro pode ser programado como desabilitado (valor 0), habilitado como referência de corrente para controle da mesma (valor 1) ou referência de velocidade (valor 2).

A configuração atual utiliza esta entrada analógica como referência de velocidade, dada pela tensão variável do potenciômetro já apresentado na seção 4.2, para permitir uma variação gradual da velocidade e controle externo.

Quando configurado deste jeito, o parâmetro P0121 torna-se um parâmetro apenas de leitura, que indica a velocidade de giro do servomotor.

A referência de velocidade é dada pela seguinte equação:

$$N_{ref} = \frac{V_{AI}}{10V} \times P0233 \times P0402 \quad (5.1)$$

Onde N_{ref} e V_{AI} são, respectivamente, a velocidade em rpm de referência e a tensão aplicada na entrada analógica. Os parâmetros P0233 e P0402 serão explicados a seguir.

P0233 - Ganho da Entrada Analógica AI1

Este é um ganho aplicado à referência de velocidade, é apenas um multiplicador como pode ser visto na equação 5.1. A ideia é ajustar este ganho para que

a velocidade de referência N_{ref} fique limitada ao valor desejado, preferencialmente a velocidade nominal do servomotor.

Além deste ganho, pode ser aplicado um *offset* da entrada analógica AI1 através do parâmetro P0235.

P0251/P0255 - Função da Saída Analógica AO1/AO2

Como mencionado anteriormente, o SCA06 possui menos opções no conector X1 de sinais de controle, e por padrão não possui opções de saída analógica.

Com a aquisição dos módulos de expansão, seção 3.3, o EAN2 disponibiliza duas saídas analógicas de 12 bits em tensão de $-10V$ a $+10V$.

Este parâmetro pode ser programado com valores de 0 a 50, referentes às informações de diversas funções como velocidade, posição mecânica do eixo, correntes, tensões, entre muitas outras opções.

Com a aquisição do referido módulo, fez-se a opção de configurá-lo para o valor 6: Velocidade, para fazer a leitura através do medidor analógico de velocidade localizado na parte exterior do painel, permitindo a leitura analógica da mesma através de um ponteiro indicador.

P0402 - Velocidade Nominal do Motor

A velocidade nominal do servomotor deve ser informada neste parâmetro, que fará parte do cálculo da velocidade de referência N_{ref} . O valor pode variar de 0 a 9.999.

P0550/P0553 - Função *Trace*

A função *Trace* é utilizada para registrar até 6 (seis) variáveis de interesse do SCA06 (como corrente, tensão, velocidade, etc) quando ocorre um determinado evento no sistema.

As variáveis são exportadas e armazenadas em arquivos de computador, utilizando o software *SuperDrive G2* executado em um PC conectado via USB ou via serial ao SCA06, podendo ser vistas sob a forma de gráficos.

No capítulo 6 será demonstrada a utilização da função *Trace* como demonstração de resultados.

P0300/P0301/P0302 - Função da Entrada Digital

Outras funções interessantes são as de configuração de entradas digitais, que podem ser expandidas em até 36 entradas digitais com a utilização de acessórios. As funções que as entradas digitais podem assumir são diversas e devem ser consultadas no Manual de Programação da WEG.

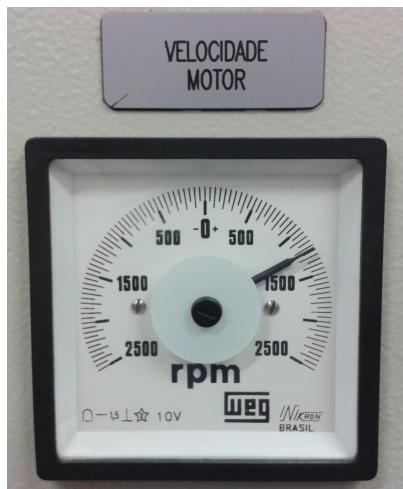
Capítulo 6

Resultados Obtidos

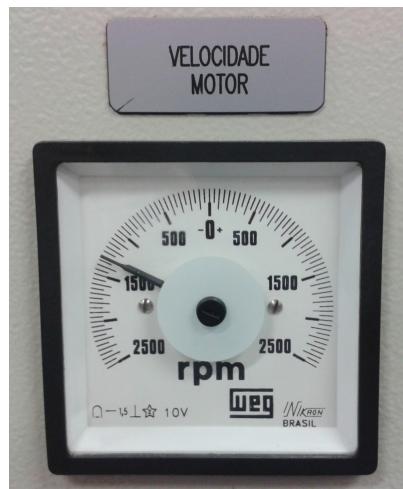
6.1 Funcionamento Mecânico

O resultado obtido mais evidente, e desejado, é basicamente o correto funcionamento dos equipamentos. Com isto, os botões de liga e desliga executam suas funções, o potenciômetro atua corretamente como a referência de velocidade externa, tornando possível a variação gradual da velocidade e, a função mais esperada, a inversão do sentido de giro através de botoeira localizada na parte fronta do painel. Tudo isso, de forma similar ao funcionamento anterior com o SCA04.

A inversão do sentido de giro é praticamente imperceptível visualmente em velocidades a partir de 700 rpm . O medidor, por ser um galvanômetro de escala com zero central, mostrará através do ponteiro a inversão da polaridade da tensão aplicada, como mostrado nas fotos das figuras 6.1a e 6.1b.



(a) Medida da velocidade do motor em sentido horário.



(b) Medida da velocidade do motor em sentido anti horário.

Figura 6.1: Medidas de velocidade em sentido horário (a) e anti horário (b).

6.2 Análise Qualitativa

Além do desejado funcionamento mecânico correto, que foi alcançado, é muito importante a possibilidade de se analisar o sistema qualitativamente. Em um primeiro momento é bastante interessante uma análise de medidas de tensões e correntes durante o funcionamento do servomotor em situações diferentes.

É possível utilizar instrumentação convencional para se aqüisitar tais medidas, ou então utilizar um recurso do próprio servoconversor, a função *Trace*. Antes de utilizar essa função, será dada uma breve explicação da utilização do *software SuperDrive G2*, da WEG Automação.

Este *software*, assim como o WLP, apresenta muitas possibilidades para ampliar a utilização do servoconversor. Os programas foram citados na seção 5.1. Esta seção apresenta um tutorial passo a passo na criação de um novo projeto, assim como as telas com informações de seu funcionamento básico, fundamentais para o início de um estudo e utilização futura mais avançada.

6.2.1 *SuperDrive G2*

Abrindo o programa

Ao abrir o programa a primeira tela é mostrada na figura 6.2, onde é exigido abrir ou criar um novo projeto. Pode-se constatar que a maioria dos ícones ou atalhos estão desativados, devido à ausência de um projeto em execução.

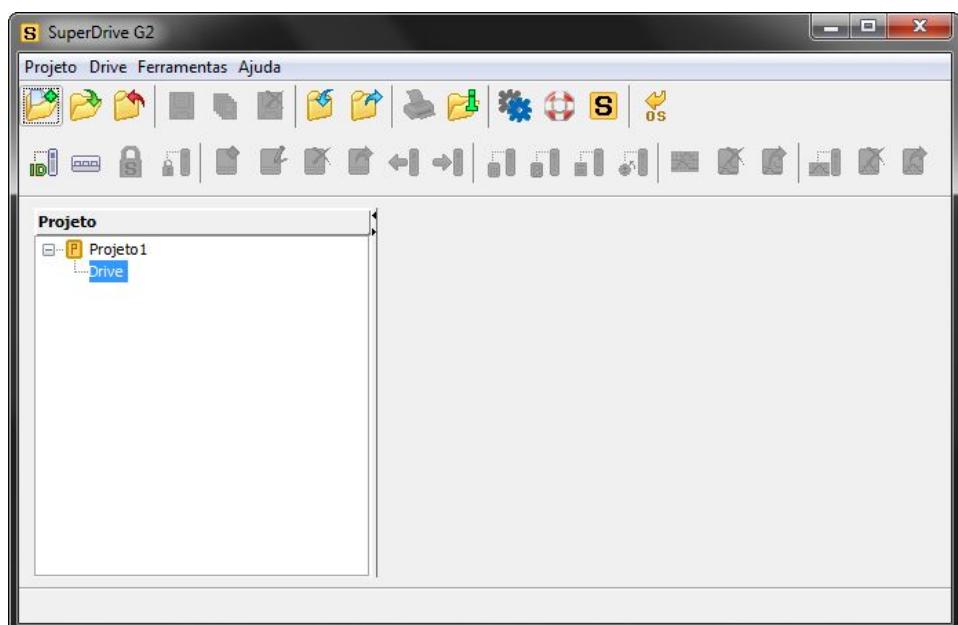


Figura 6.2: Tela inicial do *SuperDrive G2*.

Criando um novo projeto

Para criar um novo projeto deve-se selecionar **Projeto** e depois em **Novo**, como demonstrado na figura 6.3.

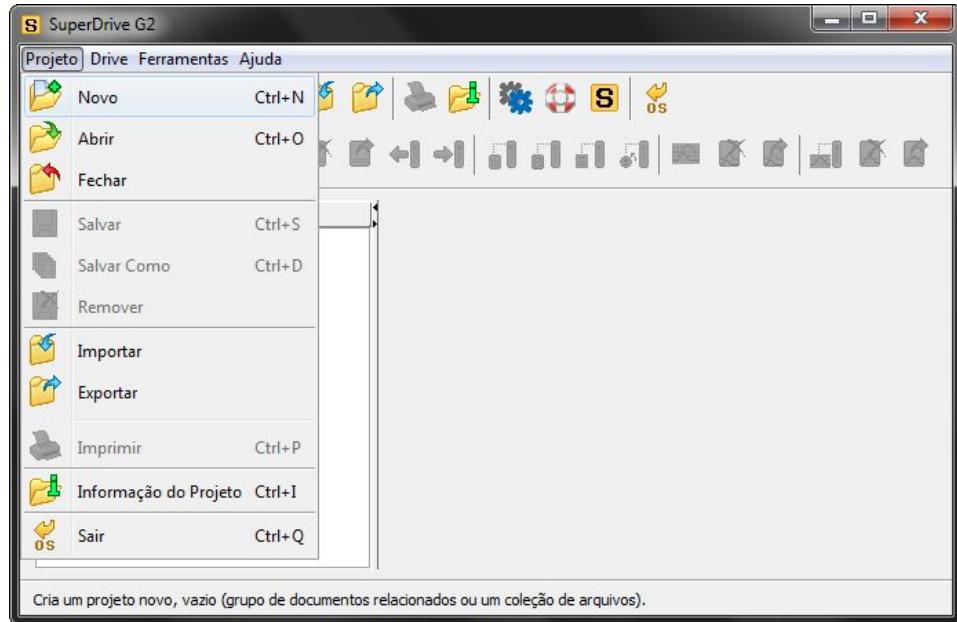
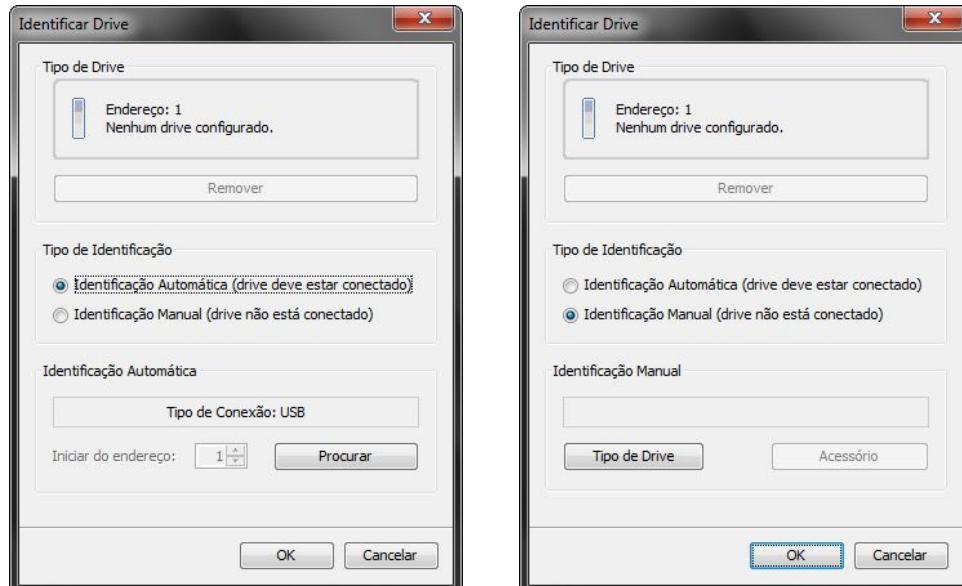


Figura 6.3: Menu **Projeto**.

Identificando o *drive*

Durante a criação de um novo projeto, é necessário identificar o tipo de conversor, ou *drive*, a ser utilizado. A identificação pode ser automática ou manual, sendo que na primeira o *drive* deve estar conectado ao computador, como mostra a figura 6.4.



(a) Identificação automática do *drive*.

(b) Identificação manual do *drive*.

Figura 6.4: Telas com as opções de identificação automática ou manual do *drive*.

Identificação manual

Com a seleção de identificação manual, deve-se escolher o modelo do conversor na lista fornecida, figura 6.5, assim como a versão instalada do *firmware*.

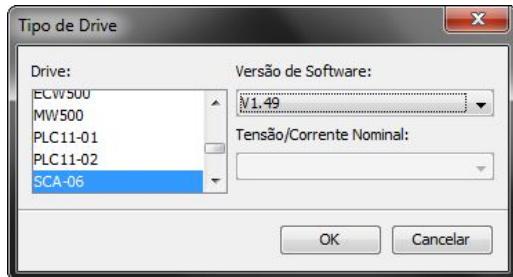


Figura 6.5: Seleção manual do modelo e versão.

Principais opções

Uma vez criado o projeto, podemos acessar as opções básicas que são **Novo Arquivo de Parâmetros** e **Função Trace**, ícones vistos na figura 6.6.

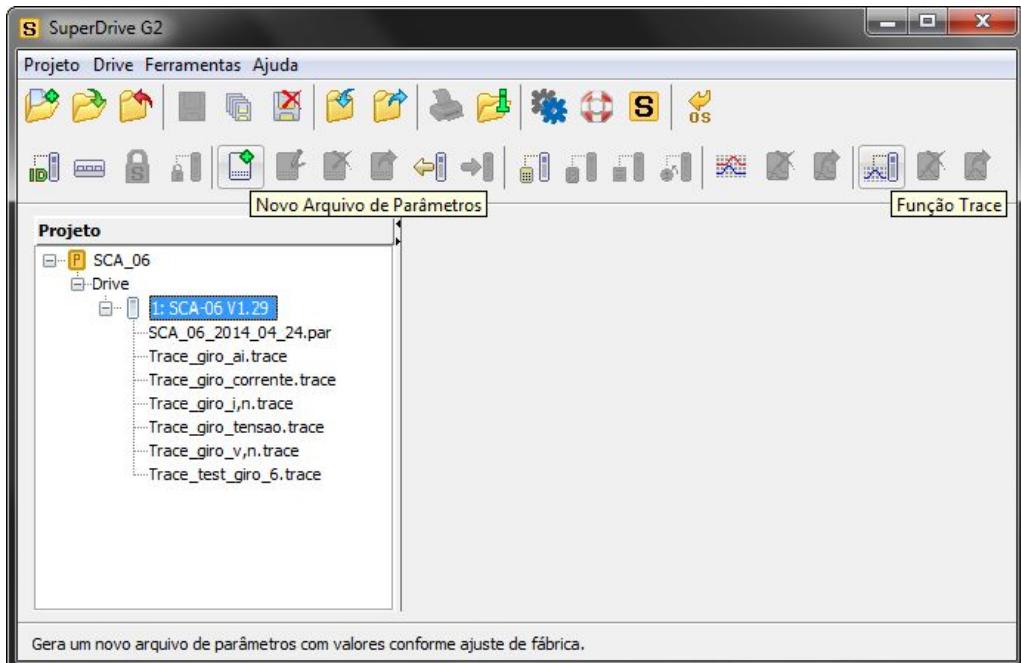


Figura 6.6: Opções básicas do *SuperDrive G2*.

Editor de parâmetros

Ao solicitar um **Novo Arquivo de Parâmetros**, um arquivo no formato “*nome do arquivo*.par” é criado e incluído na lista do projeto. Com um duplo clique, pode-se abrir o mesmo e entrar no **Editor de parâmetros**, figura 6.7.

O editor é muito interessante, pois permite a configuração de qualquer parâmetro simultaneamente, em uma interface mais agradável que a IHM do próprio equipamento.

S Editor de Parâmetros: Endereço 1 - SCA_06_2014_04_24.par

...	Função	Mínimo	Máximo	Ajuste de Fábrica	Ajuste do Usuário	Unidade	Comparação
87	Ano	0	4095	2009	2009		
88	Hora	0	23	0	0		
89	Minutos	0	59	0	0		
90	Segundos	0	59	0	0		
91	ID Slot 1	0	65535	0	0		
92	ID Slot 2	0	65535	0	0		
93	ID Slot 3	0	65535	0	0		
95	Identificação Cartão opcional	0	1000	0	0		
97	Corrente Nominal	0	999,9	0	0		
98	Tensão Nominal Servoconversor	0	10				
99	Habilitação	0	2	0: Desabilita	1: Habilita		Alterado
105	Rampa da função STOP	1	32767	200	200	ms/krpm	
111	Sentido de Giro	0	1	0: Padrão	0: Padrão		
119	Referência de Corrente	-3276,7	3276,7	0	0	A	
121	Referência de Velocidade	-9999	9999	0	1600	rpm	Alterado
126	Habilitação dos limites de Posição	0	1	0: Desabilitado	0: Desabilitado		
127	Limite Inferior de Posição-Fração de voltas	-16383	16383	-16383	-16383		
128	Limite Inferior de Posição-Número de voltas	-32768	32767	-32768	-32768		
129	Limite Superior de Posição-Fração de volta	-16383	16383	16383	16383		
130	Limite Superior de Posição-Número de volta	-32768	32767	32767	32767		

Offline

Figura 6.7: Editor de parâmetros.

Escrever parâmetros

Ao terminar a configuração desejada, deve-se ordenar que o programa escreva no *drive* os valores definidos para os parâmetros, através do comando mostrado na figura 6.8. A escrita é feita de uma só vez, todos os valores alterados serão carregados para a memória do servoconversor.

Assim, é possível realizar as configurações descritas nas seções 5.2 e 5.3 de forma conveniente. É possível ainda armazenar no computador, em arquivos *.par*, diferentes programações para variadas funcionalidades. Conclui-se assim a função básica de edição de parâmetros.

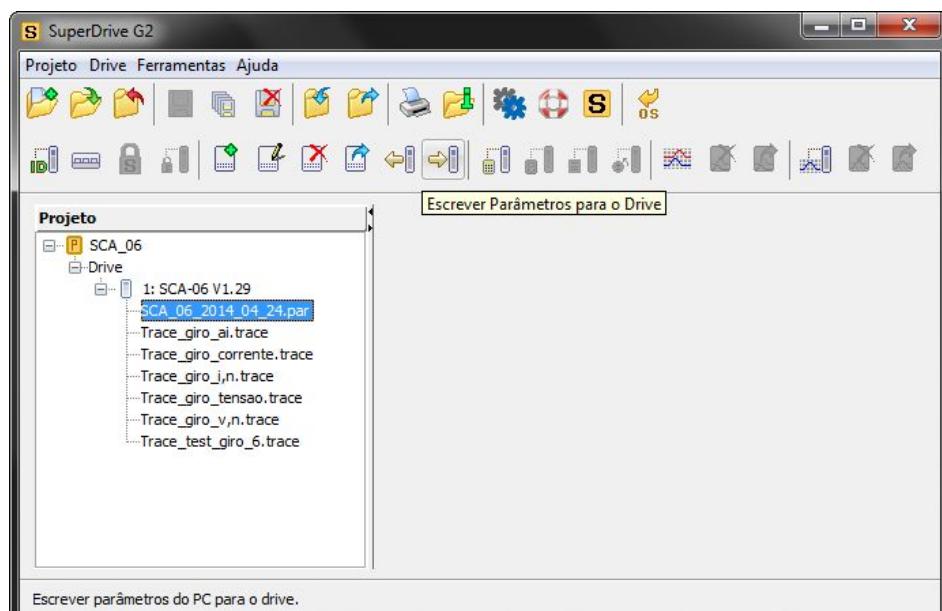


Figura 6.8: Opção para escrever os parâmetros alterados na memória do *drive*.

Função *Trace*

Como visto na seção 5.3, a função *Trace* pode registrar variáveis de interesse. Para configurar a função é necessário selecionar a opção **Configurar Trace** e programá-la corretamente. A figura 6.9 mostra a tela inicial da função.

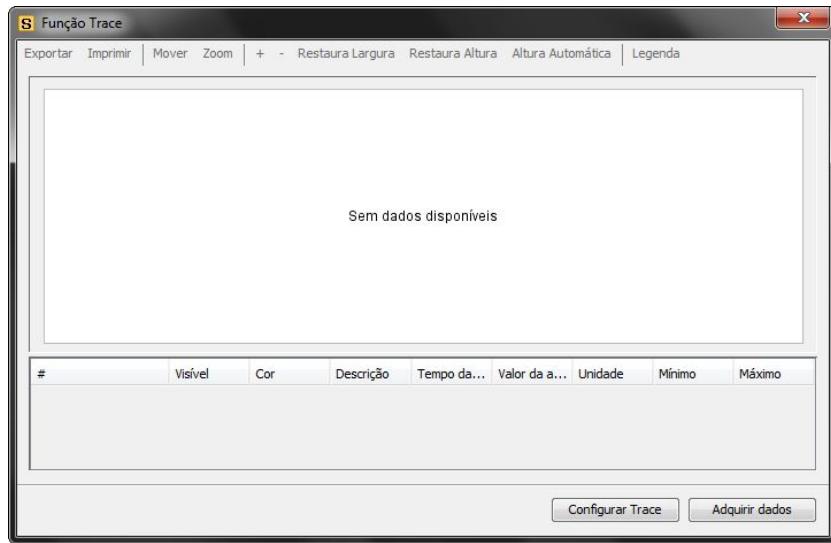


Figura 6.9: Tela inicial das opções da função *Trace*.

Configuração da função *Trace*

Com a tela de configuração aberta, figura 6.10, pode-se visualizar cada uma das opções e configurá-las da forma desejada e adequada às necessidades.

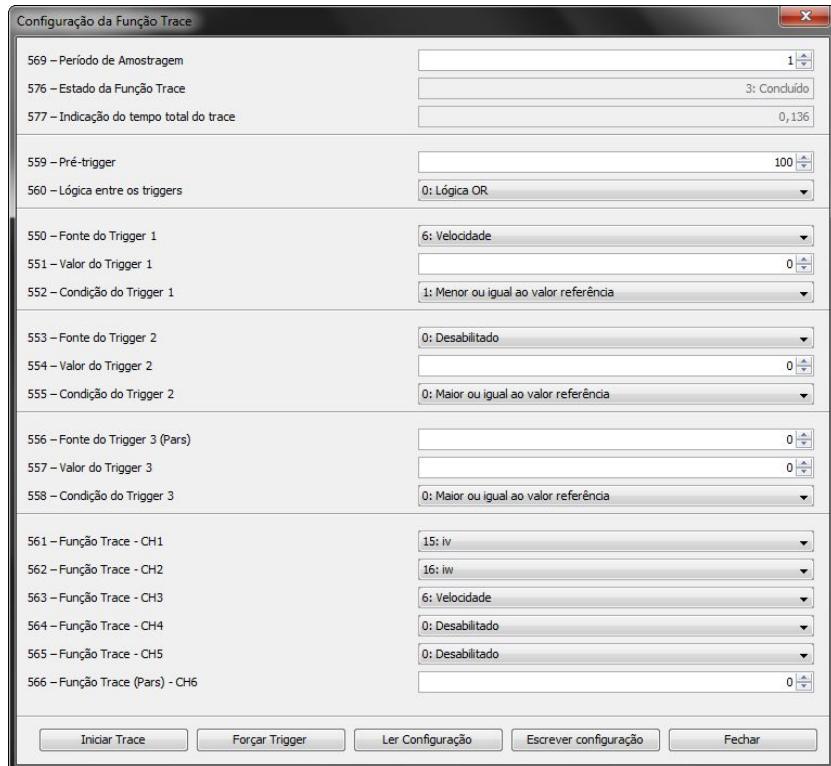


Figura 6.10: Configuração da função *Trace*.

A função *Trace* atua de forma que para armazenar as variáveis de interesse, deve-se configurar os eventos que irão desencadear o comando de armazenamento. Este evento é chamado de *trigger*, disparo em inglês, podendo ser utilizados até 3 (três) condições com lógica *AND* ou *OR*.

O campo **Período de Amostragem** é definido como um múltiplo de $100\mu s$. O valor **Pré-trigger** é ajustado em percentual, de forma que o sinal apresentado será composto por este valor percentual dos sinais armazenados antes do evento do *trigger* e o restante após o evento.

No campo **Fonte do Trigger**, seja 1, 2 ou 3, deve ser selecionada a variável medida que será utilizada para desencadear o evento, podendo ser uma tensão ou corrente, por exemplo. Com a variável selecionada, deve-se escolher o valor dela que será comparado, no campo **Valor do Trigger**.

Por fim, deve-se indicar o tipo de condição da comparação da variável medida com o valor determinado, as condições do campo **Condição do Trigger** podem ser *maior ou igual* ou *menor ou igual*.

Nos parâmetros de número P0561 a P0565 deve-se selecionar os sinais que serão registrados. No parâmetro P0566 podem ser visualizados apenas outros parâmetros.

Um exemplo de utilização, apresentado na seção 6.3 é:

- **Período de Amostragem:** 1;
- **Pré-trigger:** 50;
- **Fonte do Trigger:** Velocidade;
- **Valor do Trigger:** 0;
- **Condição do Trigger:** Menor ou igual ao valor de referência;
- **Função Trace - CH1:** Iv;
- **Função Trace - CH2:** Iw;
- **Função Trace - CH3:** Velocidade.

Estas condições resultam em uma função *Trace* que é acionada pelo *trigger* quando a velocidade do motor é menor ou igual a $0 rpm$.

A função aquisita os sinais da velocidade e das correntes I_v e I_w do motor, sendo que 50% dos dados adquiridos será composto pelo valor antes da condição do *trigger* e 50% após a condição, com intervalo de amostragem de $100\mu s$.

Ou seja, quando o sentido de giro do motor é invertido, e sua velocidade é alterada de $1.000 rpm$ para $-1.000 rpm$, por exemplo, o *trigger* é acionado e os dados são transferidos ao computador.

Dados da função *Trace*

Como exemplo da utilização da função *Trace* foi selecionado um *trigger* do evento da inversão no sentido de giro do motor.

Após a ação do *trigger*, os dados são exportados para o computador e podem ser visualizados, deve-se selecionar a opção **Adquirir Dados**, que mostrará o gráfico das variáveis. Uma prévia do resultado é vista na figura 6.11.

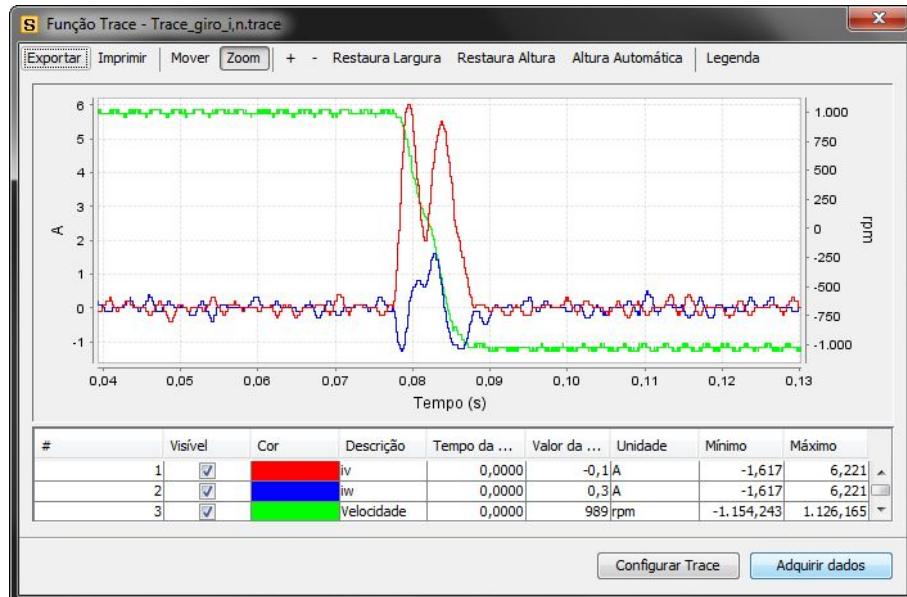


Figura 6.11: Dados adquiridos pela função *Trace*.

Estes dados ficam armazenados no computador em arquivos no formato *.dat*, um para cada variável medida. Os dados podem ser exportados, através do ícone visto na figura 6.12, para o formato *.csv* para serem acessados por outros programas, como por exemplo o *Matlab* ou *Excel*.

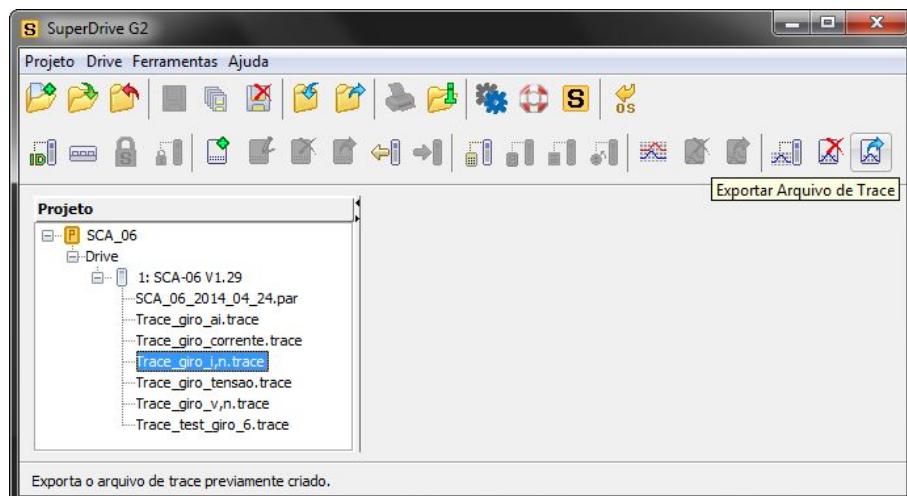


Figura 6.12: Opção para exportar os dados da função *Trace* no formato *.csv*.

6.3 Análise Quantitativa

Feita a aquisição de dados através da função *Trace*, descrita pela parte **Configuração da função Trace** na seção 6.2, pode-se fazer uma análise quantitativa do significado da mudança no sentido de giro do eixo do servomotor, com auxílio dos gráficos no momento da inversão de sentido de giro nas figuras 6.13, 6.14 e 6.15.

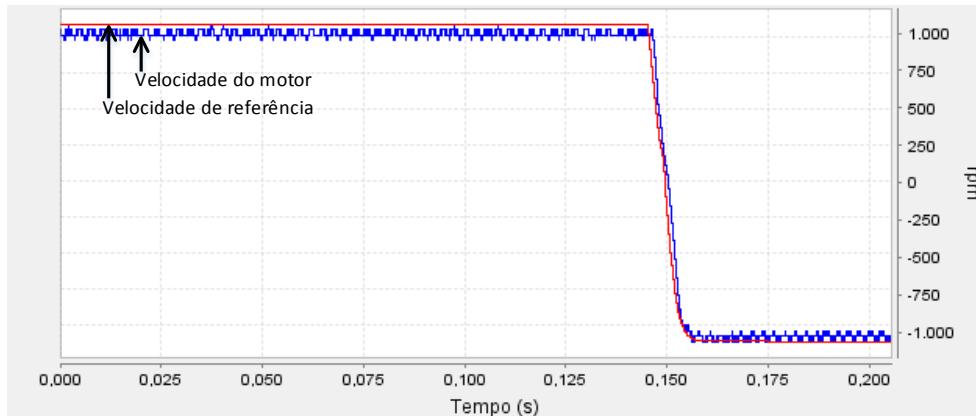


Figura 6.13: Gráfico da velocidade do motor e da velocidade de referência.

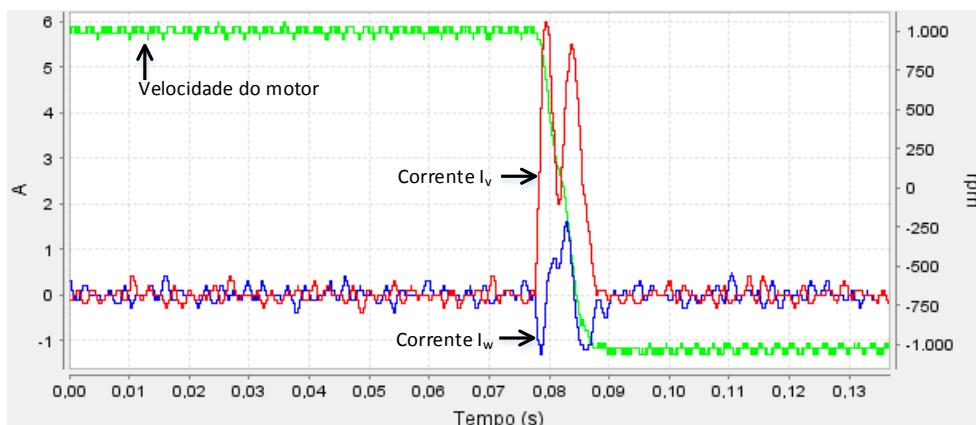


Figura 6.14: Gráfico da velocidade e das correntes do motor.

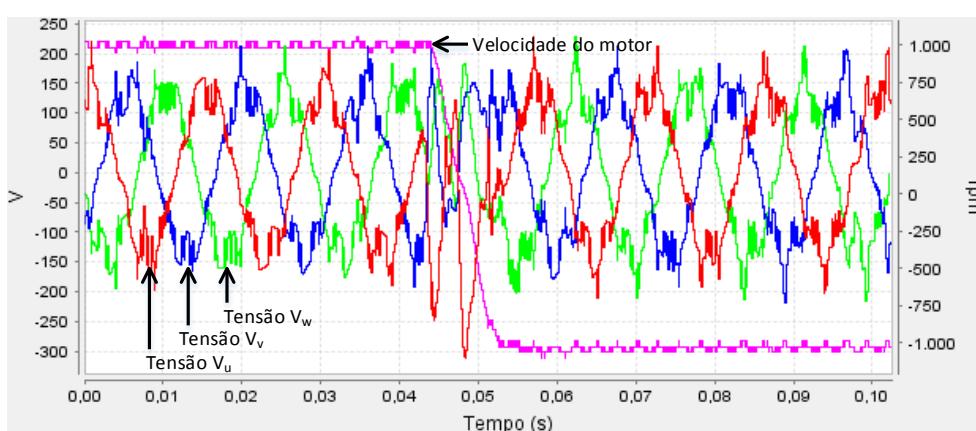


Figura 6.15: Gráfico da velocidade e das tensões do motor.

Os teste precisaram ser realizados em três momentos distintos, com as mesmas condições de *trigger* mas com alteração das variáveis de interesse, pois como pode-se adquirir apenas cinco sinais, foram necessários mais de um ensaio para obter velocidade de referência, velocidade do motor, correntes I_v e I_w e tensões V_u , V_v e V_w .

É importante ressaltar que a terceira corrente não se encontra disponível na função *trace*.

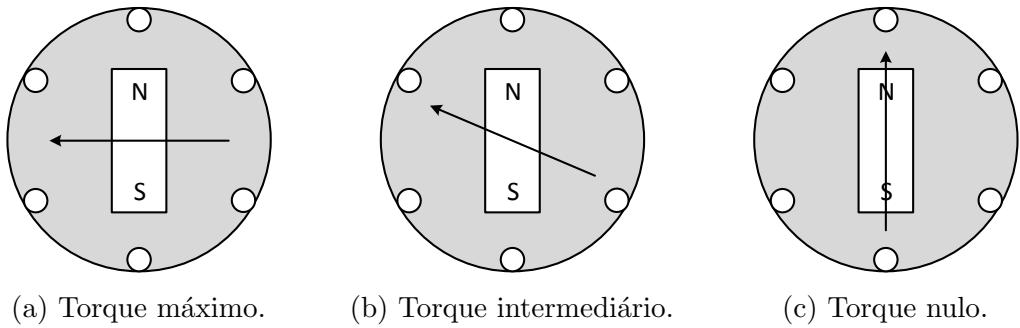
Pode-se tirar três rápidas conclusões através do comportamento das grandezas:

- Entrada analógica AI1 do servoconversor, em vermelho na figura 6.13;
- Corrente I_v , da fase V do motor, em vermelho na figura 6.14;
- Corrente I_w , da fase W do motor, em azul na figura 6.14;
- Tensão V_u , da fase U do motor, em vermelho na figura 6.15;
- Tensão V_v , da fase V do motor, em azul na figura 6.15;
- Tensão V_w , da fase W do motor, em verde na figura 6.15;
- Velocidade n do eixo do motor em rpm , em azul, verde e rosa nas figuras 6.13, 6.14 e 6.15, respectivamente.

Primeiramente, fica evidente por que a inversão no sentido de giro é imperceptível aos olhos nus, uma vez que a mudança da velocidade de aproximadamente $1.000 rpm$ para $-1.000 rpm$ dura apenas 0,01 segundos.

Este curto tempo para inversão do sentido de giro é um reflexo da eficácia do controle em malha fechada, que em apenas 0,01 segundos ajusta a velocidade do eixo do motor, mediante a mudança da referência de velocidade.

As correntes de armadura de um MSIP podem ser ajustadas por este controle com tempo de resposta bem menor que as constantes de tempo mecânicas do sistema, logo as correntes de armadura são impostas à máquina. Estas correntes produzem um campo magnético que irá interagir com o campo magnético do ímã permanente e o valor máximo de torque ocorrerá quando esses campos forem ortogonais[4], como na figura 6.16.



(a) Torque máximo.

(b) Torque intermediário.

(c) Torque nulo.

Figura 6.16: Campos magnéticos de estator e rotor de um MSIP.

Como este sistema consiste de um MSIP com controlador PID em malha fechada e um sofisticado sensor, a partir da informação da posição do rotor é possível impor as correntes de armadura de tal forma que os campos são sempre ortogonais, mantendo a condição de máximo torque e permitindo a rápida resposta mecânica do motor.

A segunda conclusão mostra como a velocidade real acompanha bem a velocidade de referência da entrada analógica, devido ao controle aplicado em malha fechada.

Em seguida, podemos observar o comportamento das correntes I_v e I_w , que sofrem picos de valores elevados no instante da transição de velocidade.

A última conclusão é que para inversão do sentido de giro é necessária uma mudança na sequência de fases do motor, que pode ser observada nas tensões do servomotor, onde inicialmente era U-V-W (vermelho-azul-verde) e passou a ser U-W-V (vermelho-verde-azul).

6.4 Diagramas Elétrico e de Comando

Finalizando este capítulo, serão apresentados os diagramas elétrico e de comando da nova configuração da bancada. Foram elaborados novos diagramas para substituir os que foram elaborados pela WEG.

Com os diagramas de comando originais foi possível desvendar diversas conexões e chegar a muitas das soluções apresentadas neste trabalho. Estes diagramas não devem ser descartados pois ainda contém referências úteis para trabalhos futuros.

Ainda assim, os novos diagramas também são muito importantes pois apresentam a atual conexão de forma clara e objetiva.

Por terem um tamanho considerável, os diagramas são apresentados nos apêndices A, B e C.

Capítulo 7

Conclusões

7.1 Conclusões

Durante a realização deste trabalho foi possível obter experiência de laboratório além da adquirida nas disciplinas experimentais do curso, exigindo evolução e amadurecimento de um tema que não possuía instruções claras e bem definidas, como seria o caso em um curso devidamente elaborado pelo corpo docente.

Portanto, um importante objetivo deste presente trabalho é deixar uma referência clara e organizada do trabalho realizado no servomecanismo do *Laboratório de Máquinas Elétricas*.

Entender todas as conexões necessárias, o funcionamento correto da bancada e a utilização dos diferentes métodos de controle e acionamento do servomotor, foi parte essencial do trabalho.

É demasiadamente importante que alunos e professores interessados em futuros estudos deste sistema possam, através deste trabalho, compreender rapidamente seu conteúdo, para que possam adotar novas configurações e trabalhos mais aprofundados das capacidades que o servoacionamento oferece.

Durante todo o processo foram encontradas diversas dificuldades, pois a alteração entre diferentes modelos não acompanha um manual específico para este propósito, a adaptação de uma instalação toda voltada para o SCA04 apresentou reais desafios para a substituição pelo SCA06.

Estes desafios que foram desvendados e superados, sendo devidamente registrados e documentados neste trabalho para auxiliar os futuros usuários deste sistema. Como mencionado, a tarefa original era uma adaptação aparentemente simples, da bancada com o modelo SCA04 para o modelo SCA06, no entanto logo no início do trabalho já foram identificadas muitas dificuldades.

O novo modelo SCA06 não apresenta alimentação CC interna, e não tem disponível uma saída de $\pm 10V$, que é necessária para alimentação do potenciômetro que servia como referência analógica e externa de velocidade. Este problema foi superado de forma bem sucedida utilizando a própria fonte de $24V_{cc}$ da alimentação do controle do servoconversor, utilizando resistores idênticos para dividir a tensão igualmente, alimentando o potenciômetro com $\pm 12V$, dentro dos limites seguros do servoconversor.

Estando concluída a parte das conexões, funcionando corretamente e de forma segura, foi possível então fazer algumas análises, utilizando a função *Trace* para gravar os valores de variáveis de interesse.

Pôde-se observar através dos gráficos que o comportamento transitório da inversão de sentido de giro dura apenas cerca de 0,01 segundos, confirmando que para nossos olhos é uma mudança instantânea, além de demonstrar a mudança na sequência de fases, que acarreta na inversão do sentido de giro. Para velocidades abaixo de 700 rpm, a inversão é visualmente perceptível.

Ao fim, foram elaborados novos diagramas esquemáticos de comando e conexão, para servirem de complemento aos diagramas anteriores referentes ao SCA04, que não devem ser descartados pois ainda possuem referências e informações úteis.

Portanto, espera-se que este trabalho fique como uma orientação com referências sólidas e confiáveis em um único local para estudos futuros.

7.2 Trabalhos Futuros

Quando este trabalho foi idealizado, pretendia-se aplicar uma carga e alguma funcionalidade mais específica como motivação para realização do mesmo.

No entanto, o trabalho inicial pretendido e necessário para uma utilização mais avançada demonstrou ter dificuldade e volume suficientes para ser um trabalho independente. Logo, é desejável a elaboração de trabalhos futuros que envolvam o uso deste servoacionamento.

Uma possibilidade é a revitalização por completo da bancada. Originalmente, a montagem com o SCA04 tinha propósito didático para treinamento de alunos e técnicos na solução de problemas.

Existem quatro chaves na parte anterior da bancada, onde um instrutor pode impor defeitos a serem resolvidos pelos alunos. A IHM do servoconversor indica através de seu visor inúmeros códigos de alarmes de falhas, que podem ser consultados nos manuais, auxiliando o aluno a diagnosticar a falha imposta.

As faltas possíveis são:

Falta 1 - Falta de fase (Chave Q2)

Esta falta desconecta duas fases da alimentação de potência do servoconversor;

Falta 2 - Falta a terra (Chave Q3)

Com uma conexão da fase U do motor ao terra, gera-se esta falta;

Falta 3 - Falta habilitação (Chave S3)

A Habilitação é, basicamente, o liga/desliga do servomotor, esta falta faz com que não haja habilitação.

Falta 4 - Falta de referência de velocidade (Chave S4)

Ao acionar esta chave, remove-se a referência de velocidade tirando a conexão com o potenciômetro;

Desta forma, o instrutor aciona as chaves desejadas, a IHM do servoconversor irá indicar algum código de falha e o aluno tem que resolver o problema.

A dificuldade de revitalização desta funcionalidade se dá pois o SCA06 vem de fábrica com menos conexões que o SCA04. O que leva a outras sugestões de trabalhos futuros.

De fábrica, o SCA06 não possui saídas analógicas, possui apenas 2 entradas analógicas, poucas entradas e saídas digitais. Para aumentar sua capacidade e se aproximar do SCA04, é necessário adquirir através da WEG módulos de expansão, que podem ser visualizados no Manual do Usuário do SCA06. Alguns módulos interessantes são apresentados a seguir:

EIO1 - Entradas e Saídas Digitais

- 12 entradas digitais optoacopladas;
- 3 saídas digitais a relé;
- 3 saídas digitais fotoacopladas.

EAN1 - Entradas Analógicas e Simulador de Encoder

- 1 entrada analógica com excursão de $-10V$ a $+10V$ e resolução de 14 bits;
- 3 entradas digitais optoacopladas;
- 1 saída digital optoacoplada;
- Simulador de encoder com canais A, AN, B, BN, N e NN.

EAN2 - Módulo de Expansão de Saídas Analógicas

- 2 saídas analógicas com excursão de $-10V$ a $+10V$ e resolução de 12 bits.

Aumentando-se a quantidade de entradas e saídas analógicas, pode-se utilizar mais botoeiras para diferentes acionamentos do servomecanismo. É possível também, por exemplo, conectar diversos medidores e configurar a saída analógica com informações de corrente, tensão, velocidade, entre muitas outras opções.

Entradas e saídas digitais podem ser utilizadas com programação *Ladder*, que é um recurso que incorpora as funcionalidades de um Controlador Lógico Programável (CLP) e posicionador, possibilitando a execução de programas de intertravamento.

Dentre as funções disponíveis pode-se destacar contatos, bobinas, funções de ponto flutuante como soma, subtração, multiplicação, divisão e funções trigonométricas. Ainda pode-se utilizar blocos PID, filtros passa-alta e passa-baixa, saturação, comparação, blocos para controle de posição, velocidade e torque.

Portanto um trabalho bastante prático com aplicação de carga seria uma simulação de um elevador. Como motivação pode-se imaginar algum processo industrial que precise movimentar pequenas cargas com precisão.

Para realizar esse trabalho, deve-se encontrar a melhor maneira de conectar, de forma segura, uma polia ao eixo do motor e algum suporte resistente para se colocar pequenos pesos.

Através de programação *Ladder* pode-se determinar 2 ou 3 níveis (andares) e ajustar a aceleração de forma suave, para não haver um arranque brusco da carga. Deve-se implementar um controle de posição, para determinar os locais de parada da carga.

As entradas e saídas digitais seriam como os botões de um elevador normal, onde poderia haver botões referentes aos níveis hipotéticos.

Um ponto de partida para este trabalho pode ser uma adaptação do exercício **8.1** do livro *Acionamento, Comando e Controle de Máquinas Elétricas*[4].

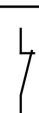
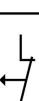
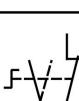
Referências Bibliográficas

- [1] ALMEIDA, A. T., FERREIRA, F. J. E., FONG, J. A. “Standards for Super-Premium Efficiency class for electric motors”, *Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference - Conference Record 2009 IEEE*, pp. 1–8, maio 2009.
- [2] WEG, A. *Motores Elétricos*. Jaraguá do Sul - SC, WEG Automação, .
- [3] WEG, A. *Guia de Aplicação de Servoacionamentos*. 1^a ed. Jaraguá do Sul - SC, WEG Automação, .
- [4] STEPHAN, R. M. *Acionamento, Comando e Controle de Máquinas Elétricas*. 1^a ed. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna Ltda., 2013.
- [5] FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, C. *Máquinas Elétricas*. 6^a ed. , Bookman.
- [6] CHAPMAN, S. J. *Electric Machinery Fundamentals*. Hightstown, McGRAW-HILL.
- [7] MORETON, P. *Industrial Brushless Servomotors*. Woburn, Newnes, 2000.
- [8] LEONHARD, W. *Control of Electrical Drives*. 3^a ed. Nova York, Springer, 2001.
- [9] WEG, A. *Manual do Usuário Série: SCA06*. 4^a ed. Jaraguá do Sul - SC, WEG Automação, 2013.
- [10] WEG, A. *Manual de Programação Série: SCA06 software V1.4X*. 5^a ed. Jaraguá do Sul - SC, WEG Automação, 2012.
- [11] FRANKLIN, G. F., POWELL, J. D., EMAMI-NAEINI, A. *Feedback Control of Dynamic Systems*. 4^a ed. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2002.

Apêndice A

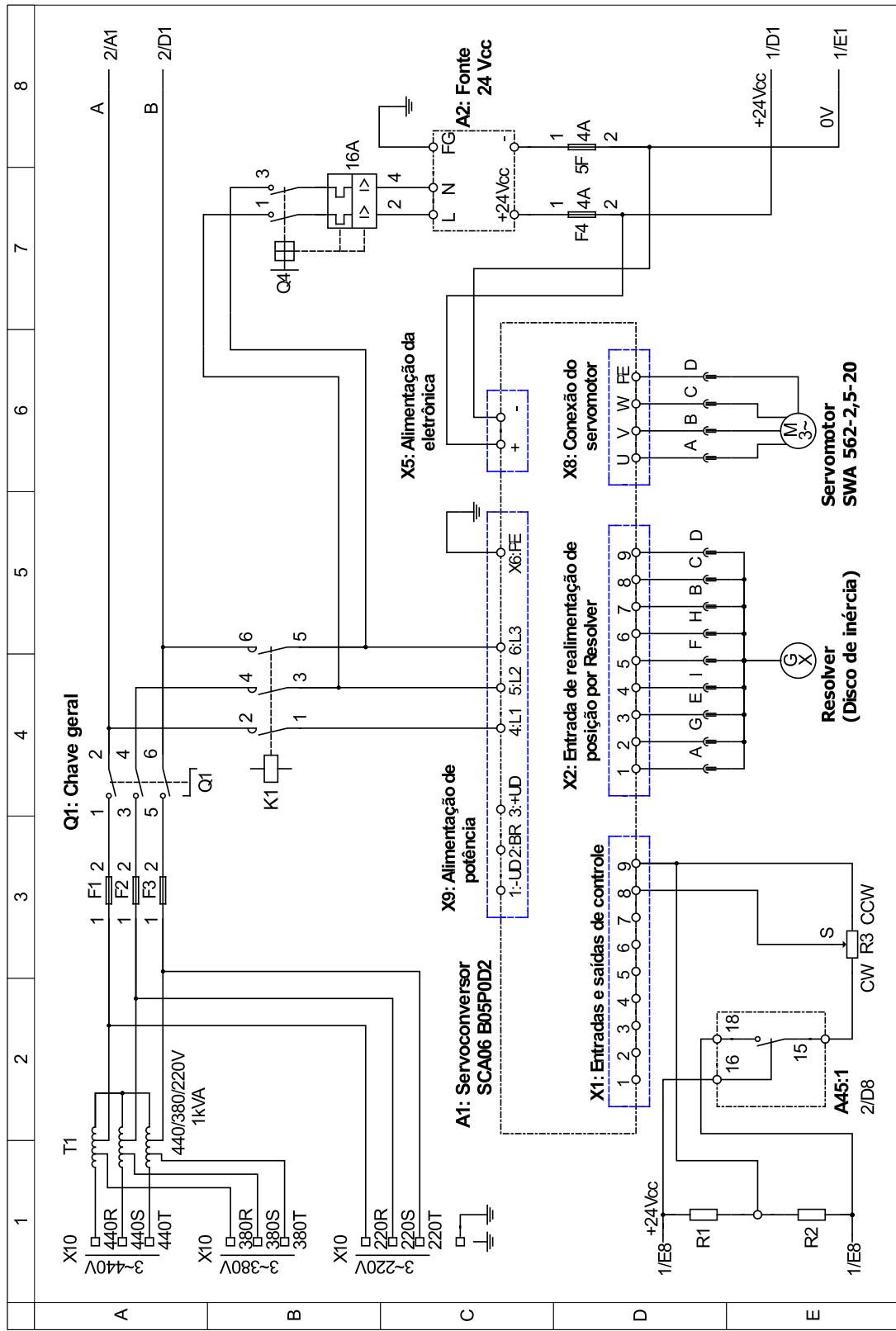
Simbologia

	Resistor
	Potenciômetro
	Enrolamento com núcleo magnético
	Terra
	Fusível
	Borne
	Lâmpada de sinalização
	Bobina eletromagnética
	Bobina de acionamento
	Chaveamento de acionamento
	Fecho mecânico

	Contato normalmente aberto (NA)
	Contato NA de força (corrente elevada)
	Contato normalmente fechado (NF)
	Contato NAacionado manualmente
	Contato NF acionado manualmente
	Módulo de chaveamento
	Relé térmico
	Relé eletromagnético de sobrecarga
	Resolver (disco de inércia)
	Servomotor (MSIP trifásico)

Apêndice B

Diagrama Elétrico



Apêndice C

Diagrama de Comando

