

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE TECNOLOGIA EM AUTOMATIZAÇÃO INDUSTRIAL**

VINÍCIUS JOSÉ MODENA

**ESTUDO DE APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS
DE ELEVAÇÃO DE CARGA DO TIPO TALHA ELÉTRICA**

CAXIAS DO SUL

2015

VINÍCIUS JOSÉ MODENA

**ESTUDO DE APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS
DE ELEVAÇÃO DE CARGAS DO TIPO TALHA ELÉTRICA**

Relatório de Estágio em Automação Industrial,
apresentado como requisito parcial para a
conclusão do Curso de Tecnologia em
Automatização Industrial na Universidade de
Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Ma. Andréa Cantarelli
Morales

CAXIAS DO SUL

2015

VINÍCIUS JOSÉ MODENA

**ESTUDO DE APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS
DE ELEVAÇÃO DE CARGAS DO TIPO TALHA ELÉTRICA**

Relatório de Estágio em Automação Industrial,
apresentado como requisito parcial para a
conclusão do Curso de Tecnologia em
Automatização Industrial na Universidade de
Caxias do Sul.

Aprovado em 09 de Julho de 2015

Banca Examinadora

Prof. Ma. Andréa Cantarelli Morales
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. André Gustavo Adami
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Maurício Zardo
Universidade de Caxias do Sul - UCS

AGRADECIMENTOS

Agradeço esta conquista, primeiramente a Deus por me dar força e inspiração nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais José e Marlene, pelo apoio e incentivo depositados em mim desde o primeiro dia de aula, bem como o acompanhamento de todo período em que estive cursando a Universidade.

As minhas irmãs e cunhados que sempre me apoiaram e incentivaram ao longo de minha formação acadêmica.

A empresa Servitec, por apoiar meus estudos financeiramente e me dispor de toda sua infraestrutura para desenvolver esta e outras atividades relacionadas a experimentos práticos necessários durante minha graduação.

Aos meus amigos, pelo apoio e compreensão.

Aos meus colegas, pelo auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso.

A minha orientadora prof.^a Andréa Cantarelli Morales, por me auxiliar com seu conhecimento e empenho durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do CCET, que fizeram com que eu alcançasse um novo nível de conhecimento e pudesse ser graduado pela Universidade de Caxias do Sul.

A Universidade de Caxias do Sul, por me dispor de toda a infraestrutura, essencial para o meu desenvolvimento acadêmico.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de aplicação de inversores de frequência em sistemas de elevação de cargas do tipo talha elétrica. Para esse tipo de aplicação, atualmente são utilizados inversores com capacidade regenerativa. Esses inversores são utilizados quando a carga possui um grande potencial regenerativo, ou seja, em certos movimentos o motor a ser acionado devolve energia para o inversor. Entretanto, este sistema possui um alto custo de implementação em motores abaixo de 7,5kW. A partir dessa premissa foi desenvolvido o estudo para assegurar a viabilidade de implementação de inversores de frequência sem a capacidade regenerativa. Através de estudo da programação de funções específicas do inversor convencional e cálculo adequado do resistor de frenagem, puderam ser solucionados os problemas que o equipamento estava apresentando quando acionado com um inversor sem a capacidade regenerativa. Pelo meio de aplicação prática e apresentação de dados experimentais pode ser comprovado sua eficiência e funcionamento satisfatório, bem como uma comparação entre os dois tipos de acionamentos e sua viabilidade econômica comprovada.

Palavras-chave: Inversor de frequência, Sistema regenerativo, Resistor de frenagem, Talha elétrica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de um inversor regenerativo	16
Figura 2 – Diagrama de blocos da PM250	18
Figura 3 – Diagrama de blocos CU240B-2	19
Figura 4 – Talha elétrica.....	22
Figura 5 – Falha identificada na BOP-2.....	25
Figura 6 – Falha descrita no manual	25
Figura 7 – Barramento DC	26
Figura 8 – Tensão nominal do barramento CC	27
Figura 9 – Módulo de frenagem	28
Figura 10 – Diagrama de potência para resistores a fio	30
Figura 11 – Tabela de seleção de resistores SEW	30
Figura 12 – Fator de sobrecarga dos resistores a fio.....	32
Figura 13 – Talha elétrica de 6 Ton empregada no teste	34
Figura 14 – Tensão no barramento CC	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Placa de identificação do motor	21
Tabela 2 – Lista de parâmetros ajustados.....	24
Tabela 3 – Parâmetros de controle do barramento CC	28
Tabela 4 – Valores para aplicação com sistema regenerativo	36
Tabela 5 – Valores para talha de 6 Ton sem regeneração.....	36
Tabela 6 – Valores para talha de 3 Ton sem regeneração	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IGBT	<i>(Insulated Gate Bipolar Transistor)</i> Transistor bipolar de porta isolada
PM250	<i>(Power Module 250)</i> Módulo de potência Siemens
CU240-B	<i>(Control Unit)</i> Unidade de controle Siemens
BOP-2	<i>(Basic Operator Panel)</i> Painel de operações básicas Siemens
A	Ampére
kW	Quilowatt
V	Volts
RPM	Rotações por minuto
kg	Quilograma
Hz	Hertz
FET	Transistor de efeito de campo
TBJ	Transistor de junção bipolar
PWM	<i>(pulse width modulation)</i> Modulação por largura de pulso
VDC	Tensão em corrente contínua
GND	<i>(ground)</i> Referência ao terra
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
TD	Duração do ciclo de frenagem
ED	Fator de duração do ciclo de frenagem do resistor
RPM	Rotação por minuto
IHM	Interface homem máquina

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	10
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 ÁREA DO TRABALHO	12
1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	13
2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	14
2.1 PROCESSO COM INVERSOR REGENERATIVO	14
2.1.1 Sistema de Acionamento com Capacidade Regenerativa.....	15
2.1.2 Inversor Regenerativo Siemens.....	17
2.1.3 Módulo de Potência	17
2.1.4 Unidade de Controle.....	18
2.1.5 Painel de Operações.....	20
2.1.6 Software de Programação de Inversores Siemens.....	21
2.1.7 Motoredutor.....	21
2.2 PROJETO PROPOSTO COM INVERSOR CONVENCIONAL.....	22
2.2.1 Inversor de Frequência sem Regeneração de Energia	23
2.2.2 Problema 1: Falha na Sustentação da Carga no Início do Movimento	23
2.2.3 Problema 2: Erro no Barramento CC do Inversor	25
2.2.4 Testes com Motor.....	32
3 APLICAÇÃO PRÁTICA	34
3.1 CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	35
3.2 RESULTADOS.....	37
4 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS.....	40
APÊNDICE A – LISTA DE PARÂMETROS.....	41
APÊNDICE B – TABELA DE SELEÇÃO DE CONDUTORES	43

1 INTRODUÇÃO

Em muitas plantas industriais é marcante a presença de pontes rolantes, equipamentos estes que promovem o desenvolvimento e agilidade do processo de movimentação de cargas por meio de içamento. O número destes equipamentos vem crescendo devido a grande procura por agilidade no processo de fabricação, transporte e armazenamento de produtos, bem como a necessidade natural de diminuir o esforço físico que os colaboradores da produção desenvolvem durante suas atividades rotineiras.

A ponte rolante é constituída de três partes: a estrutura da ponte, talha elétrica e o caminho de rolamento. A talha elétrica é um dos principais componentes, pois é nela que está instalado o motor da elevação, componente responsável pelo içamento das cargas a serem transportadas.

O aumento da eficiência dos equipamentos instalados vem sendo cada vez mais requisitado, seja por motivação ambiental, ou por questões de evolução dos produtos oferecidos aos clientes. Devido ao motor de elevação ser o responsável pelo içamento, quando precisamos aumentar a eficiência, ele se torna o principal componente a ser estudado, considerando o sistema como um todo.

Segundo Siemens BR (2014), os sistemas com inversores regenerativos mostram a evolução de um produto através de estudos e desenvolvimento de novas técnicas de acionamento para motores, entretanto este sistema ainda tem suas limitações. A mais relevante seria o alto custo, devido a sua complexidade física e grande tecnologia empregada.

Visando garantir um preço competitivo, sem perder qualidade e desempenho, surge a necessidade de utilização de inversores sem a capacidade regenerativa. Estes equipamentos possuem grande potencial de utilização, porém precisam ser alvo de estudo, para uma aplicação segura e que traga resultados positivos, tanto para a empresa fabricante do equipamento como para o cliente final.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Atualmente os sistemas de elevação de cargas do tipo talha elétrica são amplamente utilizados em diversos setores da indústria, bem como siderúrgicas, metalúrgicas, fundições, fábricas de papel, distribuidores de gás natural, entre outros. A função específica do equipamento é içamento de cargas, e estas podem ser de diferentes capacidades, de acordo com a necessidade de cada empresa.

O deslocamento de cargas é uma atividade de extrema importância no processo produtivo das empresas, porém é muito perigoso, pois estas cargas podem se soltar ou até mesmo se chocar em pessoas ou em outros equipamentos ou máquinas. Dessa forma, são feitas manutenções periódicas visando manter o equipamento em seguras condições de uso.

Os sistemas de elevação fabricados atualmente são acionados por dois tipos de dispositivos, contactores de potência e inversores de frequência.

Os contactores de potência são dispositivos de acionamento mecânico para partida de motores. Componentes fisicamente limitados, pois somente podem acionar o motor em sua velocidade nominal, proporcionando um grande nível de desgaste de seus contatos principais, gerando alto custo de manutenção e baixando a confiabilidade do equipamento. Entretanto, os inversores de frequência são dispositivos aplicados no acionamento de motores elétricos quando se necessita o controle da velocidade do motor. Além disto, como não possuem contatos mecânicos em seu acionamento de potência, sua confiabilidade aumenta muito na aplicação neste tipo de equipamento.

As cargas geralmente precisam ser movimentadas com baixa velocidade para que não haja impactos entre o solo ou máquina no qual deve ser posicionada a carga em questão, por isso a necessidade de aplicação de inversores de frequência neste tipo de equipamento.

Para acionamento do motor de elevação são utilizados inversores de frequência com a tecnologia chamada regenerativa, que devolve a energia que seria dissipada por um resistor de frenagem para a rede elétrica, gerando economia e melhor aproveitamento. Porém esse inversor, da marca Siemens, só é fabricado para motores acima de 7,5 kW, ficando inviável economicamente sua utilização em motores de menor potência.

Neste trabalho será desenvolvido um estudo da aplicação de um inversor de frequência sem a tecnologia regenerativa, na aplicação de elevação de cargas para motores de até 7,5 KW. Visando a redução de custos e um projeto mais detalhado, justificado a utilização de resistores de frenagem adequados ao equipamento em questão.

1.2 OBJETIVOS

A seguir será descrito o objetivo geral e os objetivos específicos do desenvolvimento deste sistema.

1.2.1 Objetivo Geral

Investigar as possibilidades de utilização de um inversor de frequência convencional para acionamento de motor de indução trifásico de 3,7 KW com freio elétrico em sistema de elevação de cargas do tipo talha elétrica.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Estudo de funcionamento e aplicação de inversores de frequência para equipamentos de elevação de cargas do tipo talha elétrica;
- Estudo de utilização de resistores de frenagem em inversores de frequência;
- Aplicação prática de um inversor convencional em um sistema de elevação de carga do tipo talha elétrica.

1.3 ÁREA DO TRABALHO

A empresa Servitec Ltda está localizada na Rua Bortolo Zani, N° 501, no Bairro Bela Vista, em Caxias do Sul. Possui no momento sete funcionários dispostos em três setores, administrativo, projetos/vendas, manutenção/instalações. A Servitec se enquadra como empresa de pequeno porte no ramo de prestação de serviços de eletricidade e suas principais atividades são: soluções elétricas para pontes rolantes, adequação de máquinas e equipamentos à NR12, montagem de quadros de comando e manutenção elétrica industrial.

No ano de 2012 se tornou integradora da marca Siemens no setor de automação e eletricidade, esse feito trouxe muitos benefícios à empresa, pois agora está associada a uma marca de produtos que são reconhecidos em todo o mundo por sua excelência.

Os clientes da Servitec são basicamente indústrias, de diferentes setores, e fabricantes de máquinas. Aproximadamente 80% dos quadros de comando, instalação e manutenções são voltadas a equipamentos de elevação de carga, sejam eles do tipo talha elétrica ou elevador de carga.

O estágio será realizado junto ao setor de projetos da empresa, no qual se tem à disposição inversores, motores e softwares para realizar testes de acionamento. Porém, para testar o dispositivo em suas totalidade, será necessário acessar a empresa que fabrica o equipamento de elevação em questão.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho consiste no estudo de aplicação de inversor de frequência convencional em uma talha elétrica, que é projetada e desenvolvida por um cliente da Servitec, desse modo fica sob responsabilidade desta empresa fornecer estrutura física e motor do dispositivo em questão.

Para realização de testes será necessário acessar um cliente, sendo assim será preciso disponibilidade de tempo do equipamento parado e espaço nas dependências da empresa.

Outra limitação é que a empresa Servitec é integradora Siemens, possui descontos e fidelidade, portanto os inversores de frequência e outros equipamentos utilizados serão obrigatoriamente dessa marca.

2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente capítulo apresenta o modelo atual de acionamento do motor, no equipamento proposto, em sua forma original. Atualmente a empresa Servitec, por ser uma integradora da marca Siemens, utiliza estes inversores com a tecnologia regenerativa, porém estes equipamentos somente são fabricados a partir de 7,5kW, tornando inviável economicamente sua utilização em motores abaixo desta potência.

Tendo isso como base, será apresentado um estudo de aplicação de inversores de frequência sem a tecnologia regenerativa, para a aplicação em equipamentos de elevação do tipo talha elétrica com motores de menor potência.

2.1 PROCESSO COM INVERSOR REGENERATIVO

Quando necessitamos acionar um motor elétrico de corrente alternada e precisamos controlar sua velocidade, utilizamos um inversor de frequência. Para conseguir chegar a uma rotação desejada, o inversor precisa fornecer certa quantidade de energia elétrica ao motor, que por sua vez irá transformar em energia mecânica para o seu eixo. Para retornar ao repouso é preciso diminuir gradativamente essa energia enviada ao motor, porém essa energia é devolvida ao inversor e precisa ser dissipada em forma de calor usando um resistor de frenagem, ou transformada em eletricidade e devolvida a rede elétrica.

Segundo Baú Filho (2011), sem um método eficiente para tratar essa energia gerada pelo motor em sua desaceleração, o inversor indicaria uma falha de sobre tensão devido ao aumento de tensão do barramento CC, gerando uma parada indevida do equipamento a ser controlado.

O sistema de frenagem regenerativa consiste em absorver a energia gerada pelo motor durante a desaceleração, seja ela uma parada ou mudança de rotação. Essa energia é tratada em um módulo especial interno ao próprio inversor e devolvida à rede elétrica.

2.1.1 Sistema de Acionamento com Capacidade Regenerativa

No acionamento de motores trifásicos de indução o inversor de frequência tem a função de controlar a potência enviada ao motor, ou seja, regular a velocidade do motor mantendo seu torque constante (Capelli, 2002).

O acionamento do motor de elevação da talha elétrica atualmente é feito por um inversor de frequência da marca Siemens da família Sinamics S G120 modelo PM250. Segundo Siemens BR (2014), estes equipamentos são altamente eficientes, proporcionam economia de energia elétrica e não necessitam de um dispositivo extra para dissipação de energia de frenagem.

Estes equipamentos utilizam o método de controle de velocidade o qual possui a tecnologia de regeneração de energia. Segundo Foureaux et al (2014), ao invés de dissipar a energia proveniente da frenagem em um resistor apropriado, estes equipamentos possuem um retificador bidirecional que devolve esta energia a rede elétrica a qual o inversor está conectado. Isto se faz necessário no momento em que o motor atua como um gerador e devolve energia ao inversor de frequência.

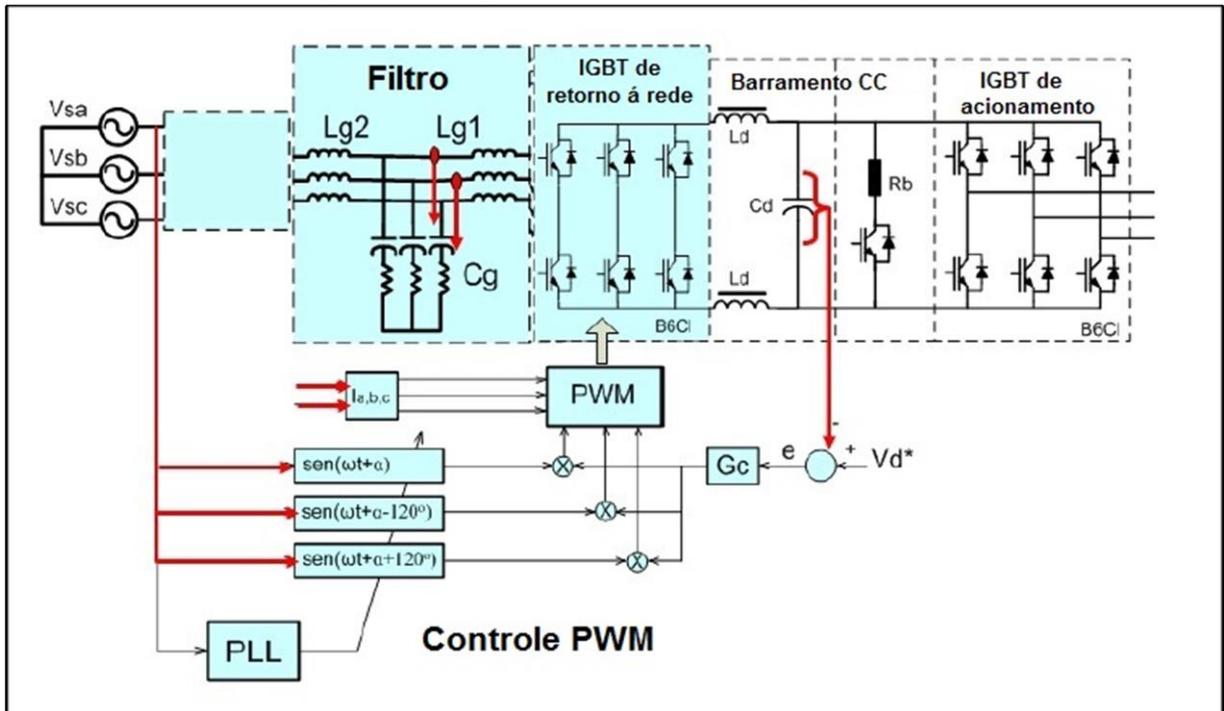
Durante o funcionamento do equipamento talha elétrica, o motor sofre por várias vezes a aceleração e desaceleração, como a carga em questão está suspensa, ela armazena energia de forma gravitacional ou cinética. Segundo Foureaux et. al. (2014), quando a carga possui potencial regenerativo é utilizado um retificador PWM (Modulação por largura de pulso), pois o mesmo possui fluxo bidirecional de potência devido ao uso do retificador ativo.

Para o funcionamento do sistema regenerativo com devolução de energia para rede, são necessários dois filtros, um para eliminar as frequências harmônicas e um para as interferências eletromagnéticas. Para o controle das chaves de acionamento bidirecionais, os IGBTs (Transistor bipolar de porta isolada), se faz necessário um controle PWM e de sincronismo com a rede de alimentação, através de sensores de temperatura e corrente.

Segundo Baú Filho (2011), a ponte IGBT pode transferir de maneira controlada a energia para a rede de alimentação, se acionado de maneira sincronizada com as frequências senoidais da rede trifásica, com um método de controle que consiga manter a defasagem angular entre as senóides. Para que a potência possa fluir em ambos os sentidos, o acionamento dos *gates* deve ser realizado através de um controle PWM. Essa modulação por largura de pulso aplicada aos IGBTs irá produzir uma tensão senoidal, que depois de aplicada ao filtro de entrada, pode ser devolvida a rede elétrica.

Conforme a Figura 1, podemos observar o esquemático de um inversor com tecnologia regenerativa.

Figura 1 – Diagrama de um inversor regenerativo



Fonte: Adaptado de Foureaux et al (2014, p.1872)

Os IGBTs são normalmente encapsulados em forma de módulos e são usados nas saídas do acionamento dos inversores de frequência. Para acionamento do motor CA são utilizados estes módulos de potência com seis IGBTs cada. Como o inversor utilizado tem a tecnologia regenerativa esse módulo é duplicado, como podemos observar na Figura 1, formando um módulo com duas pontes de seis IGBTs cada. Um módulo responsável por injetar potência ao motor e outro responsável por tratar a energia proveniente da regeneração e devolver a rede através do filtro senoidal aplicado.

Segundo Capelli (2002) o IGBT é considerado um componente híbrido entre o FET (Transistor de efeito de campo) e um TBJ (Transistor de junção bipolar). Ele possui duas características muito importantes para o sistema de acionamento destes inversores, pequena perda na condução, característica esta proveniente de um FET, e alta velocidade de operação, característica que pode ser observada em um TBJ.

O IGBT pode ser usado de forma bidirecional, ou seja deixa passar a corrente elétrica em ambas as direções. Polarizado reversamente ele atua como um diodo enquanto que na polarização direta ele pode ser acionado por um pulso na sua entrada de controle.

2.1.2 Inversor Regenerativo Siemens

Os inversores de frequência da série regenerativa, possuem uma série de acessórios e periféricos que podem ser conectados de forma modular. Primeiramente é dimensionado o módulo de potência de acordo com o motor a ser utilizado, são fabricados modelos de 7,5 KW a 75 KW. Em seguida selecionamos a unidade de controle que será acoplada ao módulo de potência, atualmente usamos o modelo CU240B-2. Esta unidade é responsável pelos acionamentos de comando do módulo de potência do inversor, nela são conectados por meio de fios elétricos as interfaces que acionam o inversor. Por último é conectado o BOP-2, um painel de operações básico utilizado para mudanças na programação, visualização de parâmetros e ajustes do motor, entre outras funções.

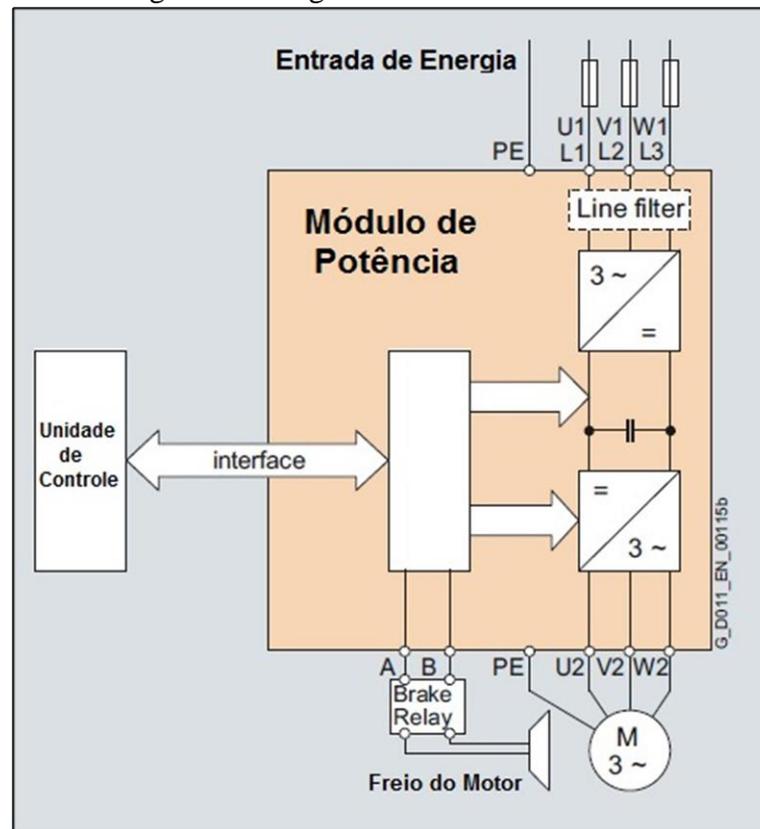
2.1.3 Módulo de Potência

Os módulos de potência G120 PM250 são utilizados quando existe grande inércia da carga e grandes ciclos de frenagem, como por exemplo, em nossa aplicação de movimentação de cargas na vertical. Segundo Siemens BR (2014), estes inversores possuem uma tecnologia inovadora que, com o controle de velocidade adequado e com o sistema de regeneração de energia proveniente da frenagem do motor, podem economizar até 65% de energia elétrica.

O módulo de potência que será utilizado é de 7,5KW com tensão de alimentação de 380 a 480 VAC em rede trifásica, frequência de entrada de 47 a 63 Hz e corrente máxima consumida de 19 A. O motor que vamos utilizar será um motor de 3,7kW, portanto a PM250 estará trabalhando abaixo de sua capacidade nominal, este é um ponto negativo do sistema implementado hoje pela empresa, pois o acionamento deste motor gera um custo igual ao de um motor de 7,5kW, menos da metade da potência com o mesmo custo.

A Figura 2 mostra o diagrama de blocos e ligações elétricas da PM250.

Figura 2 – Diagrama de blocos da PM250



Fonte: Adaptado de Siemens BR (2014)

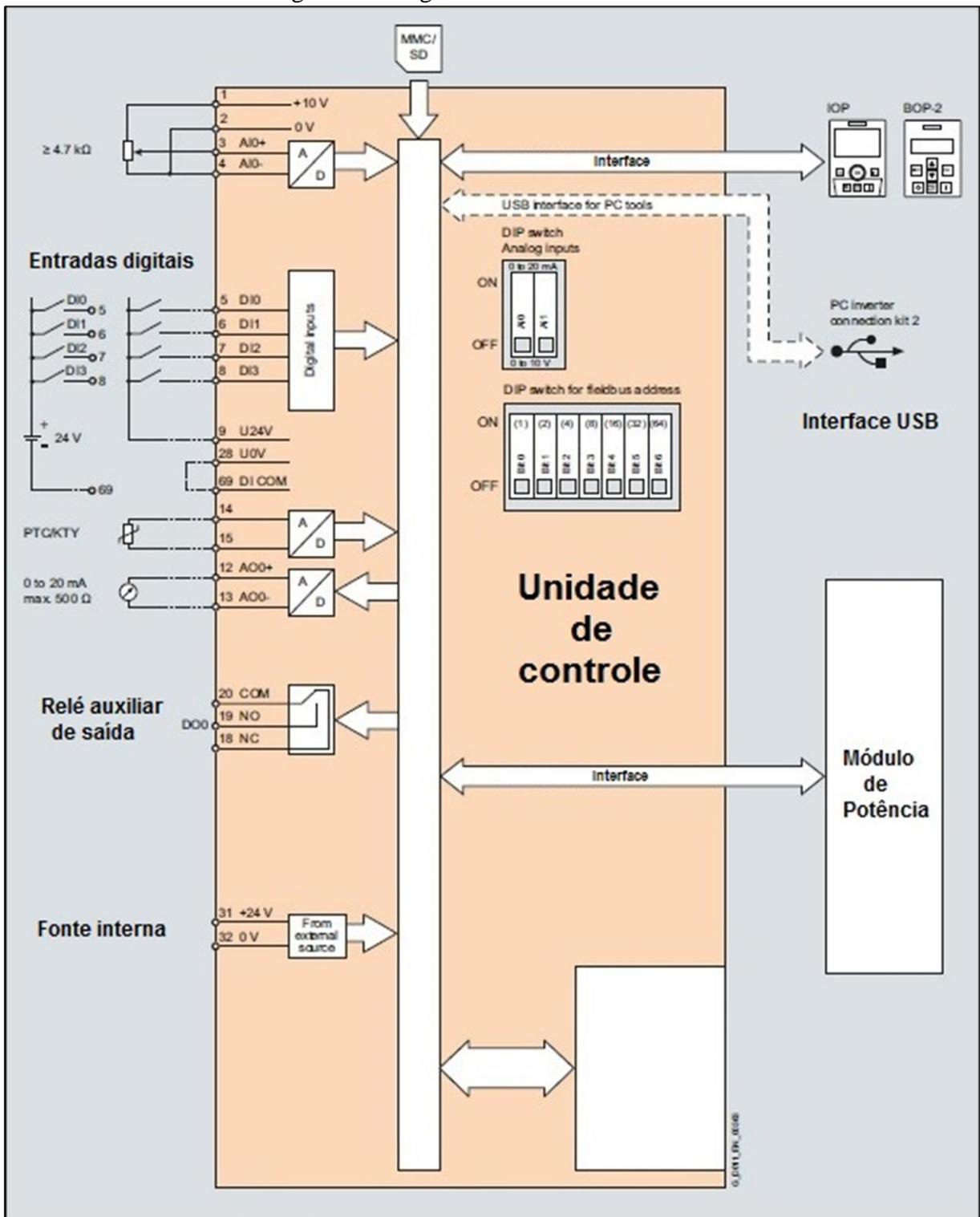
No módulo de potência PM250 são feitas quatro conexões: entrada de energia, saída de energia para o motor, saída do relé de acionamento do freio eletromagnético do motor e a interface via barramento de conexão rápida com a unidade de controle CU240B-2.

2.1.4 Unidade de Controle

A unidade de controle CU240B-2 é responsável pelo armazenamento da programação e interface entre os equipamentos nela conectados. Por ser um equipamento modular, ela pode ser conectada a todos os módulos de potência, independente de sua potência, isso resulta em economia do estoque da empresa.

Conforme Figura 3, podemos observar o diagrama de blocos da unidade de controle, que possui diversas possibilidades de entradas e funcionalidades. As entradas utilizadas em nosso equipamento atualmente são, fonte de alimentação independente + 24VDC e GND nos terminais 31 e 32 respectivamente, as entradas digitais DI com, DI 0, DI 1, DI 2 nos terminais 69, 5, 6, 7.

Figura 3 – Diagrama de blocos CU240B-2



Fonte: Adaptado de Siemens BR (2014)

Esta unidade tem a função de utilizar a programação armazenada em sua memória e fazer a interface entre todos os equipamentos utilizados no acionamento e controle do inversor.

Hoje são utilizadas as seguintes interfaces no sistema de elevação da talha:

- Entradas digitais: Responsáveis pelo acionamento do comando do motor no sentido horário e anti-horário, bem como a mudança de rotação através de entradas com velocidades pré-selecionadas.
- Relé auxiliar de saída: Responsável pelo acionamento do sistema de freio da talha, este relé tem um retardo acionado pela frequência aplicada ao motor, liberando a abertura do freio somente quando certa frequência for aplicada ao motor, assim gerando segurança ao liberar o freio com a carga suspensa.
- Interface USB (*USB Interface for pc tools*): Esta interface permite a programação do inversor em um software desenvolvido pela Siemens, o “Starter”. Nele todos os parâmetros são configurados por meio de programação de blocos e podemos verificar curvas de acionamento bem como a monitoração em tempo real dos parâmetros aplicados ao motor.
- Conexão com o módulo de potência (*PM interface*): Essa conexão faz o controle do módulo de potência através das configurações salvas na memória da unidade de controle. A unidade de controle indica ao módulo de potência todas as ações que ele precisa desenvolver com seu sistema de potência, e a unidade também recebe sinais de sensores instalados dentro do módulo de potência, a fim de manter o funcionamento do inversor de forma segura, evitando assim a queima do equipamento ou do motor.
- Conexão com o painel de operações básicas (*BOP-2 interface*): Essa conexão é aplicada somente quando o inversor já está instalado e é preciso ler ou alterar parâmetros de velocidade ou acionamento do motor, bem como pequenas alterações na programação. Este equipamento é uma pequena interface homem máquina (IHM) que é conectada diretamente da unidade de controle.

2.1.5 Painel de Operações

O painel de operações básicas (BOP-2), é um equipamento utilizado no ambiente do cliente final nos testes dos equipamentos e em manutenções corretivas. Ele indica diversos parâmetros como o monitoramento do motor em tempo real, no qual podemos observar a tensão, corrente e velocidade aplicadas ao motor. Também se pode observar a lista de erros para auxiliar nas ações a serem tomadas, auxiliando muito em manutenções corretivas.

2.1.6 Software de Programação de Inversores Siemens

Para a programação de parâmetros dos acionamentos do inversor e dos motores nele conectados é utilizado o software *Starter*. Um software desenvolvido especialmente para inversores Siemens da linha Sinamics e Micromaster com amplas possibilidades de programação. Nele são inseridas todas as informações necessárias para acionamento do motor, assim como as especificações do motor, entradas e saídas – digitais e analógicas, tipos de controle de acionamento, tipo de controle do freio (caso o motor possua), velocidades pré-selecionadas, monitoramento de temperatura do motor, comunicação por rede industrial, diagnóstico de falhas, entre outras funções.

No Apêndice A podem ser vistos os parâmetros atualmente modificados e configurados para a aplicação com inversor regenerativo, o qual possui vinte parâmetros, sendo eles dez de ajuste de motor e dez para o controle de acionamentos.

2.1.7 Motoredutor

A talha elétrica utiliza, para o movimento vertical, um motor de indução com redutor e freio eletromagnético da marca SEW-Eurodrive.

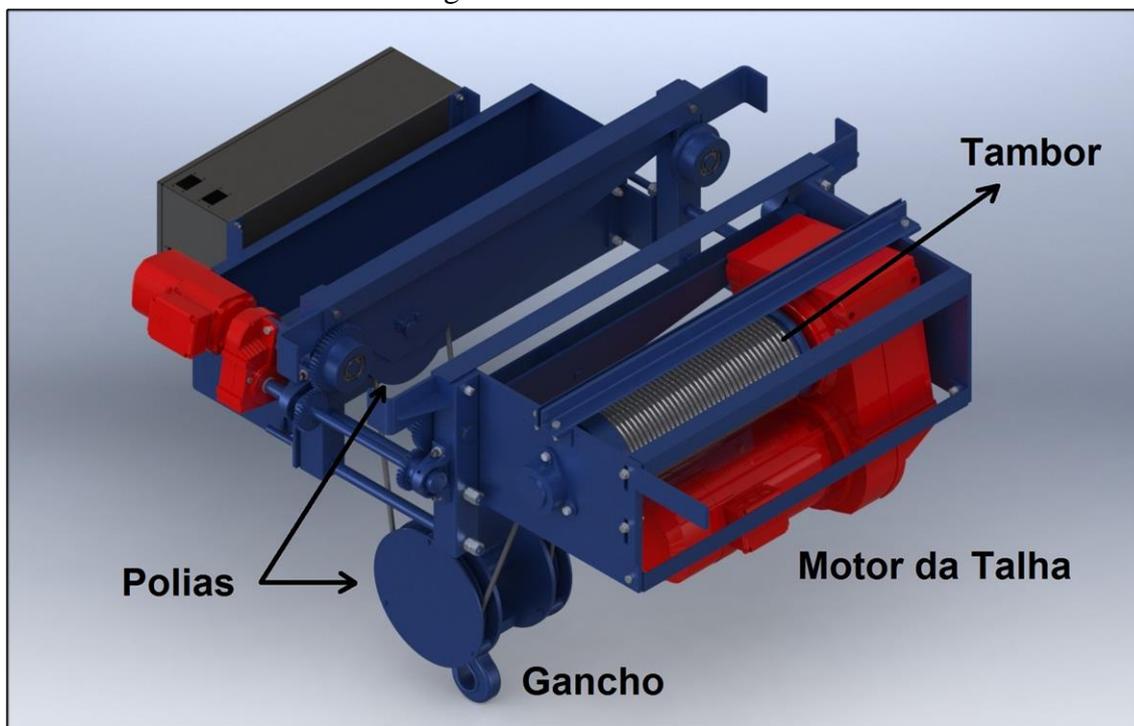
Os principais parâmetros desse motor podem ser observados na Tabela 1. Estas informações são fundamentais para o dimensionamento e posterior parametrização do inversor.

Tabela 1 – Placa de identificação do motor

SEW-EURODRIVE	Série No: 70.0245463701.0001.14
Velocidade em RPM	1715 RPM
Potência	3,7 KW
Tensão nominal	220/380 V
Corrente nominal	14/8,10 A
Peso	138 Kg
Frequência de operação	60 Hz
Rendimento	87,5 %
Grau de proteção	IP 55
Tensão do freio	220 V
Cos φ	0,81

O motor pode ser observado na Figura 4, no qual já aparece acoplado ao sistema de elevação tipo talha elétrica.

Figura 4 – Talha elétrica



Fonte: Adaptado de Tessaro (2015)

O cabo de aço é enrolado pelo motor em um tambor cilíndrico com ranhuras para melhor acomodamento do mesmo. As ranhuras são dimensionadas pela espessura do cabo, e o comprimento do cilindro varia de acordo com a altura de elevação do equipamento.

O gancho é o único contato que o operador tem com o equipamento e é nele que é feita a conexão com os dispositivos a serem içados. Desde o tambor até o gancho o cabo de aço passa por diversas polias que fazem o sistema de transmissão de força do equipamento.

As talhas elétricas geralmente possuem as capacidades padronizadas pela empresa fabricante, e as mais comuns a serem comercializadas são de 3 Ton, 6 Ton e 10 Ton, ao qual os motores possuem respectivamente 3,7kW, 7,5kW e 11kW

2.2 PROJETO PROPOSTO COM INVERSOR CONVENCIONAL

O projeto proposto a ser testado no equipamento talha elétrica, será com inversor de frequência sem a tecnologia regenerativa. O inversor sem essa tecnologia possui somente um

conjunto de seis IGBT's para compor a unidade inversora de acionamento, ou seja, precisa tratar a energia que retorna ao inversor de outra forma a não ser a regeneração de energia.

Neste caso vamos fazer uso de um resistor de frenagem, uma forma simples de dissipar a energia em forma de calor, entretanto é preciso tomar alguns cuidados com seu dimensionamento, pois pode danificar o inversor caso não possua as características ideais para a aplicação. Os principais parâmetros a serem dimensionados para o bom funcionamento do resistor são potência e resistência.

Ao ser empregado um inversor convencional no sistema de elevação do tipo talha elétrica, o mesmo apresentou algumas falhas que ainda não foram solucionadas pelas Servitec, tornando assim inviável sua utilização até o momento.

2.2.1 Inversor de Frequência sem Regeneração de Energia

O sistema proposto em substituição ao inversor regenerativo tem como base o inversor da linha Sinamics modular G120C que possui versões de 0,55kW a 18,5kW. Segundo Siemens BR (2014), este equipamento foi projetado para uma melhor economia de espaço no comando, fácil programação e pode ser aplicado a muitos processos industriais devido ao seu alto nível de tecnologia empregada. Além disso, com sua tecnologia de controle vetorial, pode gerar em torno de 60% de economia de energia se comparado com outros inversores da mesma categoria.

Como a produção das talhas elétricas leva em consideração a estrutura física de cada cliente, sua fabricação pode variar de acordo com cada instalação. Por esse motivo cada equipamento tem suas particularidades, e assim podem gerar diferentes problemas com diferentes soluções para o ajuste dos seus inversores. No equipamento proposto para ser executado os testes, estavam sendo verificados dois problemas, um era referente à sustentação da carga e outro referente ao erro no inversor.

2.2.2 Problema 1: Falha na Sustentação da Carga no Início do Movimento

Quando iniciamos um movimento na vertical, com a carga não suspensa, o inversor libera o freio e inicia o movimento normalmente. Porém, quando a carga está suspensa e é preciso retomar o movimento para cima, o motor não consegue manter o peso da carga, soltando-a em direção ao chão. Os testes foram desenvolvidos com 50% da carga nominal da talha.

Neste caso, a solução para resolver o problema de sustentação seria a utilização de um controle de abertura e fechamento do freio por meio de temporização.

Segundo Siemens BR (2014), os tempos de controle de frenagem devem ser calculados referentes a cada equipamento, pois, como comentado anteriormente, cada um tem suas características de construção próprias e podem influenciar direta ou indiretamente no controle da carga a ser içada.

A Tabela 2 mostra os parâmetros que foram ajustados, em relação à programação anteriormente feita para este mesmo inversor, buscando evitar a falha na sustentação da carga.

Tabela 2 – Lista de parâmetros ajustados

Parâmetro	Função	Ajustado	Função
P0730	Define a fonte de sinal para a saída digital de acionamento do freio	52.12	Controle do tempo de retenção do freio
P1215	Configuração do tipo de controle do freio	3	Controle via temporização
P1216	Tempo de abertura do freio	100ms	Valor ajustado pelo equipamento testado
P1217	Tempo de fechamento do freio	100ms	Valor ajustado pelo equipamento testado

Estes parâmetros foram ajustados tendo como auxílio os técnicos do suporte da Siemens, que nos orientaram a mudar o parâmetro P0730 e P1215 para melhor ajuste do acionamento do freio. O parâmetro P0730, passou de 52.1 para 52.12, isso altera o funcionamento do sistema de freio de “ON/OFF”, para controle de retenção do freio feito por temporização. Quando P0730 foi alterado, um novo parâmetro foi habilitado, o P1215. Assim o controle do freio pode ser ajustado para controle via temporização, alterando o P1215 de 0 para 3. Assim o tempo de abertura a fechamento do freio pode ser controlados por meio de temporizadores rápidos e precisos com o controle interno do inversor.

Os parâmetros P1216 e P1217 são responsáveis pelo tempo de abertura e fechamento do freio, respectivamente. Esses parâmetros foram ajustados com o método de tentativa e erro. Foram aplicados diversos valores de tempo e observado o comportamento da carga.

Quando o inversor é acionado, um temporizador retarda a abertura do freio no início da rampa de aceleração. O mesmo acontece quando o movimento é cessado, um temporizador aciona o freio momentos antes do término da rampa de desaceleração.

A lista de parâmetros fornecida no manual de instruções do inversor Siemens Sinamics G120C, também contribuiu como base para os ajustes e configuração do inversor.

2.2.3 Problema 2: Erro no Barramento CC do Inversor

Outro problema ocorre logo que o motor é acionado para descer a carga, então o inversor bloqueia o movimento e apresenta uma falha que pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 – Falha identificada na BOP-2



Fonte: Autor

A partir da falha F30002 identificado na BOP-2 no inversor Siemens Sinamics G120C foi constatado um erro de sobretensão no barramento CC do inversor, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Falha descrita no manual

F30002	Power unit: DC link voltage overvoltage
Message class:	DC link overvoltage (4)
Reaction:	OFF2
Acknowledge:	IMMEDIATELY

Fonte: Adaptado de Siemens AG (2014)

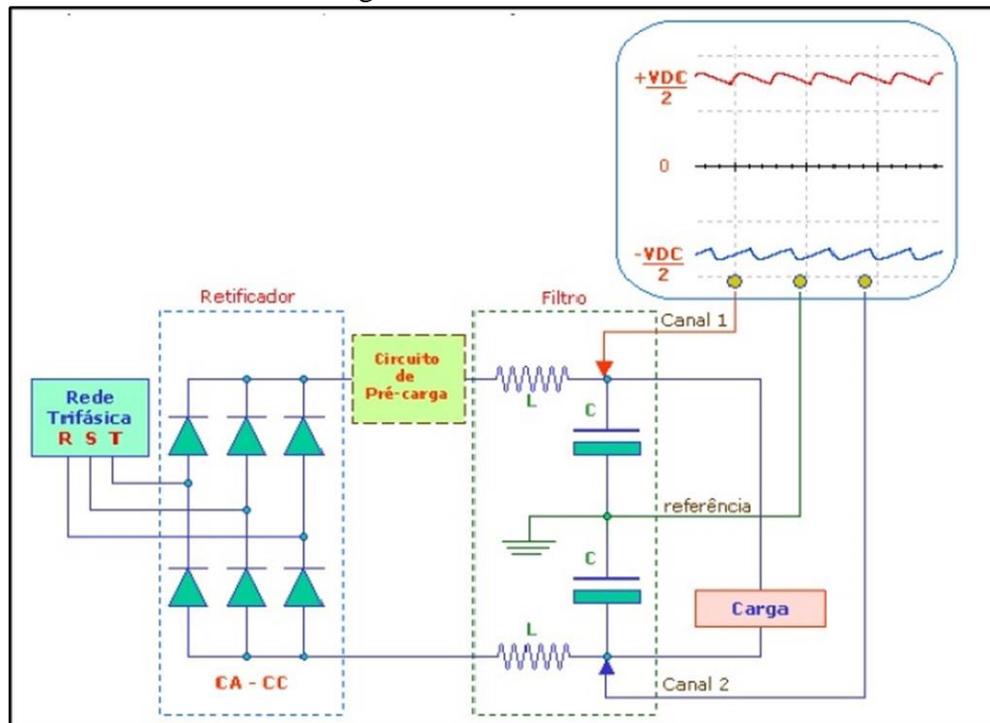
Quando ocorre a falha F30002 o inversor imediatamente desliga seu módulo de potência, para não danificar seus componentes, após é necessário fazer o *reset* do inversor, podendo ser pelo software ou pela IHM.

Segundo Mascheroni (2013), quando é feita a frenagem ou desaceleração de um motor de indução, a frequência do rotor é maior que a do estator, provocando um fluxo

reverso dessa energia, fazendo com que o motor trabalhe como um gerador, fornecendo energia ao barramento CC do inversor, quando essa tensão chega a um limite máximo, o inversor desliga o módulo de potência para evitar danos.

O barramento CC ou *DC Link* é constituído de filtros que suavizam as ondulações geradas pelo circuito retificador da entrada do inversor de frequência. A Figura 7 mostra detalhadamente o circuito retificador e o filtro.

Figura 7 – Barramento DC



Fonte: SILVA (2009)

Os capacitores são responsáveis por suavizar as ondulações de corrente, enquanto os indutores fazem o trabalho de minimizar as ondulações de tensão. Quanto melhor essa filtragem, melhor será o sinal que chegará ao circuito inversor.

Segundo Franchi (2014), a tensão nominal do barramento CC pode ser descrita por

$$V_{CC} = 1,41 \times V_{rede} \quad (1)$$

onde:

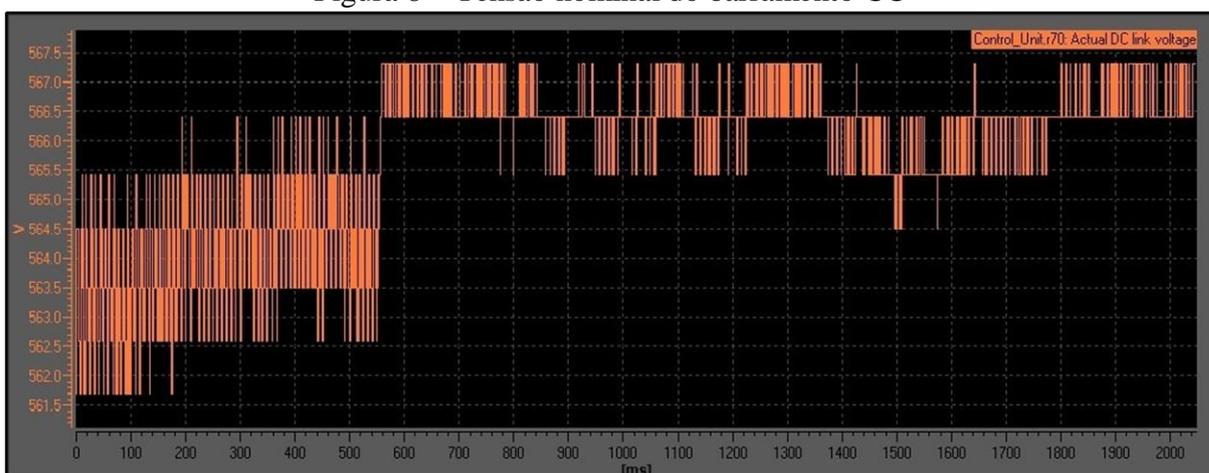
V_{CC} = Tensão contínua no barramento CC

V_{rede} = Tensão de linha alternada da rede alimentação

$$V_{CC} = 1,41 \times 380 = 535,8 \text{ V}$$

Essa equação pode ser confirmada através de uma simulação feita com o software de programação *Starter*, conectado ao inversor e recebendo informações instantâneas. A tensão no barramento em situação de acionamento do motor sem carga pode ser observada na Figura 8.

Figura 8 – Tensão nominal do barramento CC



Fonte: Autor

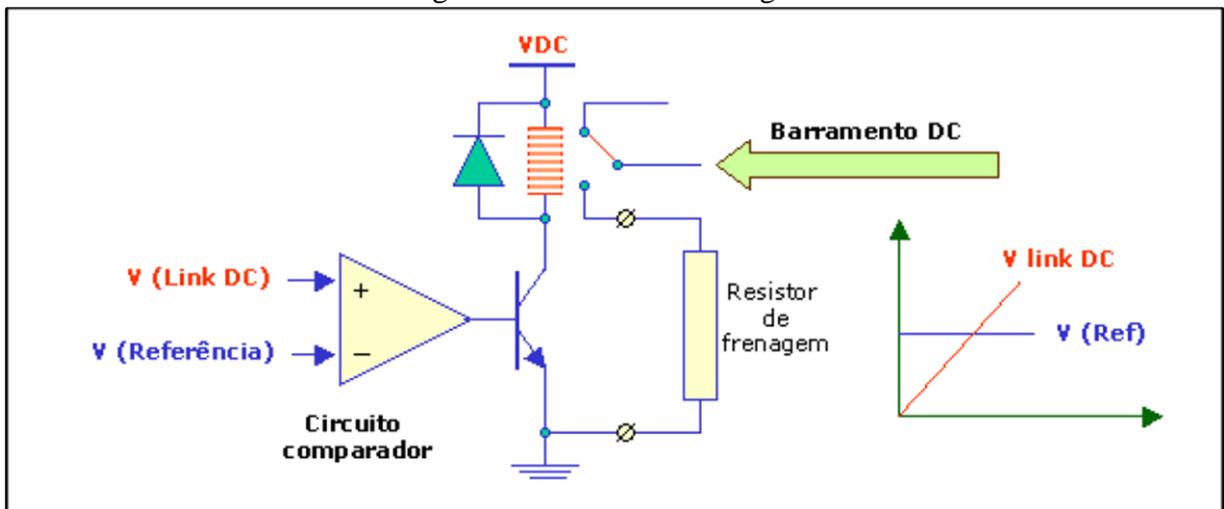
A imagem do gráfico mostra que a tensão de barramento (V) se mantém entre 561,5V e 567,5V em uma situação de acionamento do motor sem carga e com velocidade de aproximadamente 800 RPM.

O erro provocado pela sobrecarga no barramento CC pode ser observado quando estava sendo executada a rampa de desaceleração ou fazendo o movimento da carga para baixo, momentos em que a carga possui potencial regenerativo, ou seja, quando ela possui energia cinética e devolve potência ao inversor.

Como esse inversor não possui a tecnologia regenerativa ele então trata essa energia proveniente da regeneração da carga através de um módulo de frenagem que traz em seu hardware. Segundo Mascheroni (2013), quando a aplicação de um motor de indução for a processos que exigem um tempo de desaceleração baixo e com diversas paradas, é necessário o emprego de um recurso de frenagem elétrica.

A Figura 9 mostra o funcionamento esquemático do módulo de frenagem dos inversores de frequência convencionais.

Figura 9 – Módulo de frenagem



Fonte: SILVA (2009)

Um circuito comparador verifica permanentemente a tensão do barramento CC e compara a uma tensão pré-ajustada com valores que o fabricante determina como máxima tensão de trabalho do barramento CC. Quando essa tensão for maior que a de referência, o transistor é saturado fechando o circuito e energizando o relé, conectando o resistor de frenagem ao barramento e dissipando a energia excedente em forma de calor.

Para fazer o uso de um resistor de frenagem nestes inversores, é preciso alterar dois parâmetros para inibir o monitoramento do barramento CC.

Na Tabela 3 podemos observar esses parâmetros, suas funções e os valores ajustados.

Tabela 3 – Parâmetros de controle do barramento CC

Parâmetro	Função	Ajustado	Função
P1240	Controle de tensão do barramento CC	0	Desabilitado
P1280	Limite de tensão do barramento CC	0	Desabilitado

Alguns testes foram feitos pela Servitec utilizando o método de tentativa e erro, na intenção de solucionar o problema de sobretensão no barramento CC do inversor. Foram utilizados diversos resistores de frenagem com diferentes valores de resistência e potência, como por exemplo, 500 W com 200 Ω , 800 W com 70 Ω , ambos os testes não foram satisfatórios.

Os testes tentativa e erro deixaram de ser opção quando, após um dos testes o resistor entrou em curto-circuito e danificou o equipamento, sem a opção de conserto.

A partir deste problema foram realizados estudos sobre a seleção e dimensionamento de resistores de frenagem.

2.2.3.1 SELEÇÃO DO RESISTOR DE FRENAGEM

A Siemens, fabricante dos inversores, disponibiliza apenas um modelo para aplicação padrão, ou seja, não permite a utilização em sistemas com grande potencial de regeneração de energia. A solução foi utilizar os resistores de outra marca com grande reconhecimento em sistemas de elevação. A SEW fabrica diversos produtos, porém os que mais se destacam no mercado atualmente são motores de indução, de inversores de frequência e resistores de frenagem.

O fabricante de resistores SEW, mostra em seu catálogo de seleção dois modelos de resistores, o de construção plana e o de fio, porém indica somente este último para cargas com grande potencial regenerativo, que é o caso em questão.

Os resistores de fio possuem grande capacidade de carga instantânea, qualidade importante quando temos que dissipar uma grande quantidade de energia fornecida pelo motor em sua desaceleração ou quando estiver no movimento de descida da carga.

Segundo SEW (2011), a superfície destes resistores atingem altas temperaturas, por isso são protegidos por uma grade e, geralmente são instalados na parte superior externa do painel elétrico, devido à necessidade de ventilação para controle de temperatura.

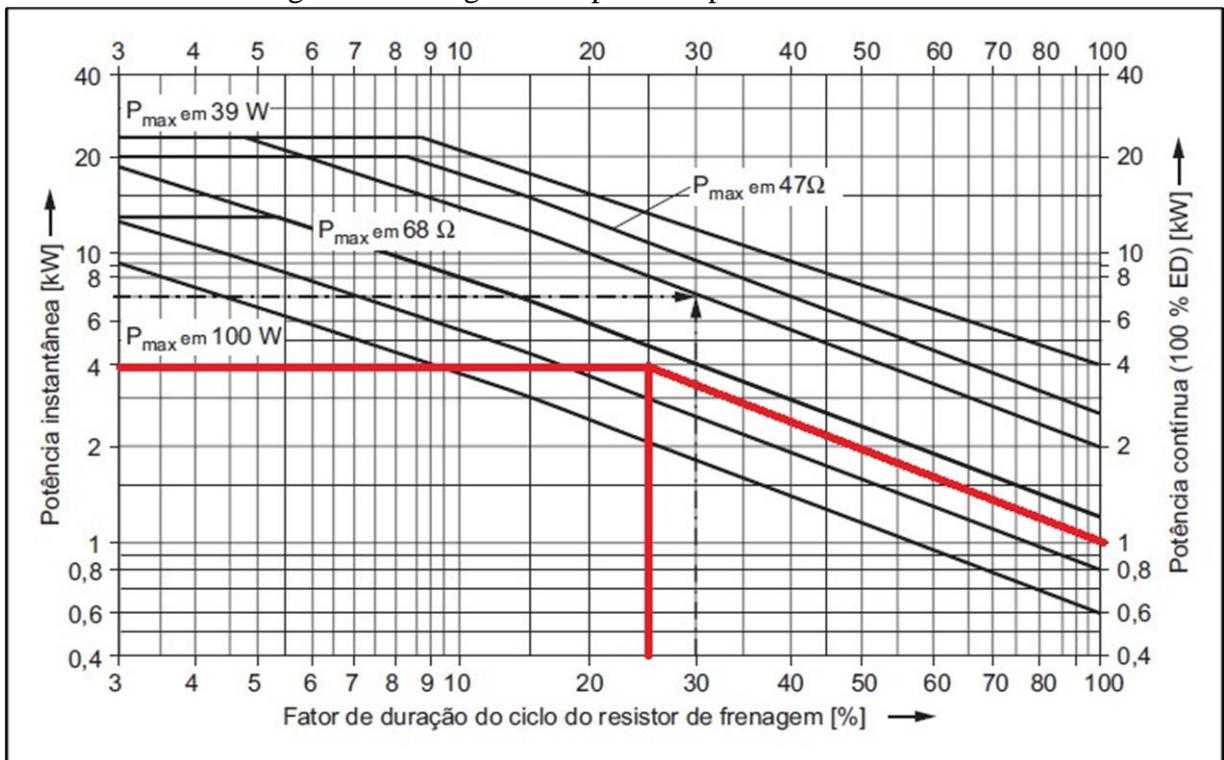
A capacidade de carga dos resistores leva em consideração a duração do ciclo de frenagem (TD), que é o tempo em que o inversor fica acionado, incluindo as rampas de aceleração e desaceleração. Este, por sua vez, é determinado levando em consideração o tempo de conexão entre o resistor e o barramento CC do inversor, e é calculado em porcentagem sobre um ciclo de no máximo 120s ($TD \leq 120s$). O fabricante indica esse tempo de ciclo máximo como um padrão das especificações dos resistores por ele fabricados.

Para uma aplicação de movimentação na vertical, que é o caso da talha elétrica, o tempo de acionamento não é mais longo que 30s, ou então 25% da duração do ciclo (25%TD).

Para podermos dimensionar o resistor devemos partir de um estimativo padrão para posteriormente concretizar os cálculos de todos os parâmetros envolvidos.

Como o motor utilizado é de 3,7kW e temos 25%TD, podemos visualizar a Figura 10, para estimar um valor de potência máxima do resistor.

Figura 10 – Diagrama de potência para resistores a fio



Fonte: Adaptado de SEW (2005)

Observando o gráfico traçado entre a potência instantânea, que equivale a aproximadamente 4kW e o fator de duração do ciclo (%TD) de 25%, podemos determinar a potência contínua sobre o resistor, que neste caso será de 1kW.

A Figura 11 mostra a tabela de resistores que o fabricante disponibiliza.

Figura 11 – Tabela de seleção de resistores SEW

Tipo	BW100-006	BW168	BW268	BW147	BW247	BW347
Código	821 701 7	820 604 X	820 715 1	820 713 5	820 714 3	820 798 4
Código tipo BW...T	1820 419 8	1820 133 4	1820 417 1	1820 134 2	1820 084 2	1820 135 0
100 % duração do ciclo	0,6 kW	0,8 kW	1,2 kW	1,2 kW	2,0 kW	4,0 kW
50 % duração do ciclo	1,1 kW	1,4 kW	2,2 kW	2,2 kW	3,8 kW	7,6 kW
25 % duração do ciclo	1,9 kW	2,6 kW	3,8 kW	3,8 kW	6,4 kW	12,8 kW
12 % duração do ciclo	3,6 kW	4,8 kW	6,7 kW	7,2 kW	12 kW	20 kW ¹⁾
6 % duração do ciclo	5,7 kW	7,6 kW	10 kW ¹⁾	11 kW	19 kW	20 kW ¹⁾
Resistência	100 Ω ±10 %	68 Ω ±10 %		47 Ω ±10 %		
Corrente de disparo I _F	2,4 A	3,4 A	4,2 A	5 A	6,5 A	9,2 A
Conexões	Bornes de cerâmica 2,5 mm ² (AWG12)					Bornes de cerâmica 10 mm ² (AWG8)
Torque	0,5 Nm / 4 lb in					1,6 Nm / 14 lb in
Design	Resistor de fio					
Para MOVITRAC® B	0015 – 0040			0055 / 0075		

Fonte: SEW (2011)

Utilizando a tabela de seleção de resistores disponibilizada pelo fabricante, podemos observar que para essa especificação, o resistor que mais se adapta ao sistema é o BW268 que pode ter uma potência contínua sobre o resistor de 1,2kW. Esse resistor de fio possui uma resistência de 68 Ω .

Tendo como base o dado fornecido pelo fabricante, que a tensão máxima admitida no barramento CC (U_{dc}) que é de 970 V e o valor da resistência é de 68 Ω , podemos calcular sua potência máxima dissipada através de

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{U_{dc}^2}{R} = \frac{970^2}{68} = 14kW \quad (2)$$

onde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Potência máxima dissipada pelo resistor

U_{dc} = Tensão contínua máxima admitida no barramento CC

R = Valor de resistência do resistor de frenagem

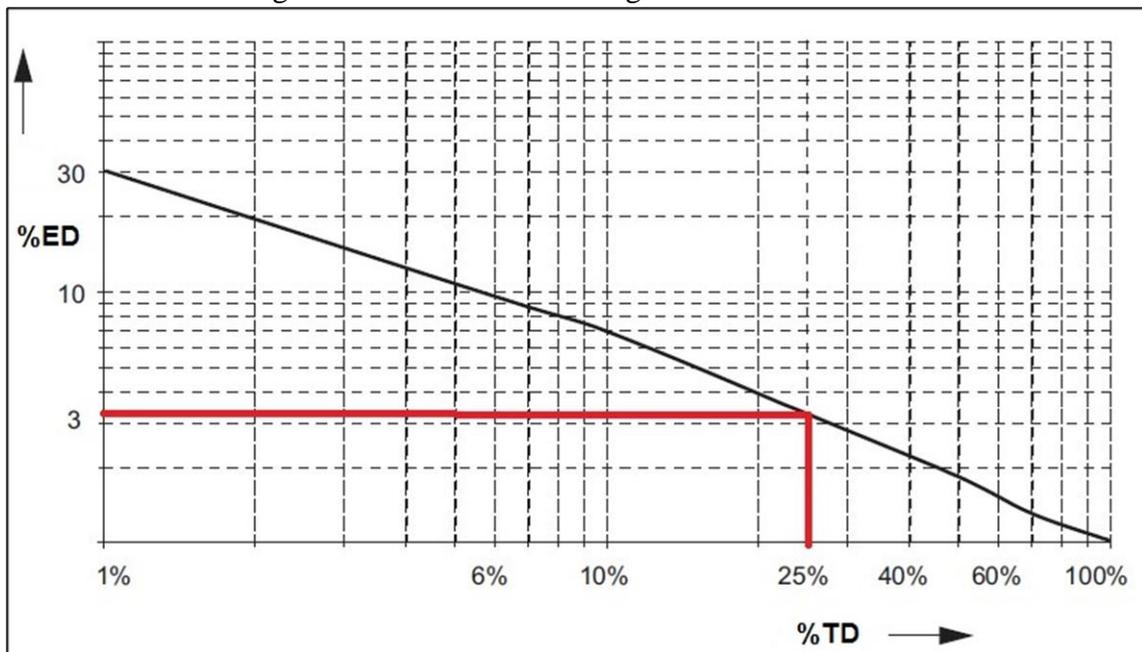
Obtendo a potência máxima podemos também dimensionar os condutores elétricos de conexão entre o inversor e o resistor. Estes cabos precisam ser especiais para altas temperaturas, já que os resistores podem chegar aos 80°C. A corrente máxima do resistor ($I_{m\acute{a}x}$) é estimada usando

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{U_{dc}} = \frac{14 kW}{970 V} = 14,44 \quad (3)$$

Dimensionando os condutores elétricos a partir destas especificações, chegamos ao condutor elétrico Prysmian Afumex 2,5mm², que pode ser utilizado para correntes até 21A segundo a tabela de seleção de condutores contida no apêndice B. Segundo Prysmian (2015), este modelo de cabo elétrico é eficiente até a temperatura de 90°C, além disso, possui proteção de isolamento com características de não propagação e auto-extinção de chamas.

O fator de sobrecarga (%ED) é um parâmetro importante a ser levado em consideração no dimensionamento do resistor, pois com ele podemos calcular a potência média dissipada pelo resistor. Conforme Figura 12 pode-se analisar o fator de sobrecarga para o caso em questão. Como a duração do ciclo estimada para a talha está em 25%, fator de sobrecarga do resistor fica em aproximadamente 3,2% ED.

Figura 12 – Fator de sobrecarga dos resistores a fio



Fonte: Adaptado de SEW (2011)

Com esses dados calculamos então a potência média dissipada pelo resistor (P_{TD}) com

$$P_{TD} = \frac{P_{m\acute{a}x}/2}{\%ED} = \frac{14kW/2}{3,2} = 2188 W \quad (4)$$

Tendo este dado e visualizando a Figura , podemos observar que o resistor escolhido tem um limite de 3800W a 25% da duração do ciclo, e obtivemos 2188W.

A partir desse estudo sobre cálculo de resistor para frenagem reostática e levando em consideração as indicações da Siemens, fabricante do inversor, e a SEW, fabricante do resistor e do motor, chegamos ao seguinte valor de resistor de frenagem para uma talha de 3 Ton que utiliza o motor de 3,7kW: $P = 1000 W$ $R = 68 \Omega$.

2.2.4 Testes com Motor

Para realizarmos os testes práticos nos equipamentos, solicitamos ao fabricante da talha um equipamento disponível. Como não havia nenhum destes equipamentos sendo fabricados no momento, foi sugerido ir até o ambiente fabril de um dos clientes e realizar os testes em uma talha elétrica que já está em funcionamento. Porém não se localizou nenhum cliente com uma talha de 3 Ton que tivesse essa disponibilidade de tempo e espaço

necessários para realização dos testes. A solução foi testar em uma talha de maior capacidade. Assim localizamos uma talha de 6 Ton, a qual usa um motor de 7,5kW.

Para essa mudança de aplicação, a seção 2.2.2, Problema 1, permaneceu inalterado entretanto, foi refeito os cálculos do resistor de frenagem levando em consideração a potência do motor em questão que se eleva de 3,7kW para 7,5kW.

Para o motor de 7,5kW e 25%TD, visualizamos a Figura 10, e obtemos que 100%ED sobre o resistor será de 2kW.

Novamente utilizando a tabela de seleção de resistores na Figura 11, é possível observar que o resistor com essa potência é o BW247. Esse resistor de fio possui uma resistência de 47Ω .

A potência máxima dissipada pelo resistor, a partir da Equação 2:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{970^2}{47} = 20kW$$

Corrente máxima no resistor, com a Equação 3:

$$I_{max} = \frac{20kW}{970} = 20,61 A$$

O cabo elétrico ideal para o uso seria, Prysmian Afumex $4mm^2$, que suporta corrente máxima de 28A, conforme a tabela de seleção de condutores contida no apêndice B.

Potência média dissipada, a partir da Equação 4:

$$P_{TD} = \frac{20kW/2}{3,2} = 3125W$$

O resistor BW247 tem um limite de 6400W a 25%, obtivemos 3125W, um bom fator levando em consideração o regime de trabalho intenso que uma talha elétrica pode ser submetida.

Resistor de frenagem para o motor de 7,5kW: $P = 2000 W$ $R = 47 \Omega$

3 APLICAÇÃO PRÁTICA

Os testes foram executados em uma empresa que tinha disponível um talha elétrica de 6 Ton com 6 metros de elevação, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Talha elétrica de 6 Ton empregada no teste



Fonte: Autor

Os testes foram realizados neste equipamento utilizando uma carga de aproximadamente 50% da capacidade. Este equipamento está em funcionamento com um inversor regenerativo. Assim, para realizar os testes, o mesmo foi substituído por um inversor sem a capacidade regenerativa.

Primeiramente, foram realizados os testes com a antiga programação e dimensionamento de resistores utilizados pela Servitec, após com os ajustes propostos e calculados.

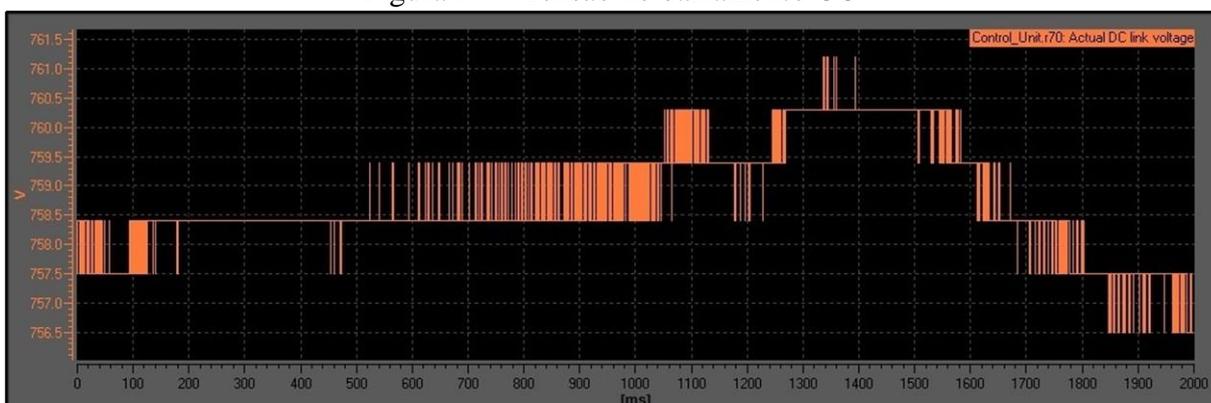
Logo nos primeiros testes notamos a falha na sustentação da carga. O teste foi realizado da seguinte maneira: suspendemos a carga por cerca de 20 centímetros, quando retomamos o movimento para cima ele não conseguia manter o peso da carga e a soltava até encostar-se ao chão. Esse problema pode ser corrigido com os parâmetros descritos na seção 2.2.2 Problema 1 e, refazendo o mesmo procedimento pode ser visualmente observada sua correção.

Posteriormente, foram feitos os testes do resistor. Logo que acionado para a carga descer, momento em que há tem potencial regenerativo na carga, o inversor apresentava erro F30002, que indica sobretensão do barramento CC do inversor.

Foi conectado o resistor calculado e refeito os testes com o mesmo procedimento e o inversor não apresentou mais o erro. Assim, foram realizados mais alguns testes com tempo de regeneração maior e, mesmo assim, o inversor e o resistor se mantiveram em condições normais de trabalho.

Ainda com o resistor conectado obtivemos a tensão do barramento CC submetido a um grande tempo de carga em situação de regeneração de energia. Esta tensão pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 – Tensão no barramento CC



Fonte: Autor

A tensão no barramento CC chegou a um limite de 761,5 V, mesmo submetida a um grande tempo de carga regenerativa atuando. Sabemos que esse número pode aumentar, pois estava sendo aplicado apenas 50% da carga que a talha suporta, porém pelas precisões dos cálculos deve ficar abaixo do limite de tensão imposta pelo fabricante do inversor que é de 970 V.

3.1 CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

O custo do acionamento do motor principal é um ponto muito importante, pois é o motor mais potente de todo sistema, conseqüentemente o mais caro e que pode alterar consideravelmente o valor de venda um equipamento.

Esta seção mostra um comparativo de custos entre a implementação do sistema regenerativo e o sem a capacidade regenerativa, para talhas elétricas de 3Ton e 6Ton. O inversor com capacidade regenerativa somente é fabricado a partir de 7,5kW. Portanto, tanto para o motor de 3,7kW, quanto o de 7,5kW é usado o mesmo conjunto de equipamentos. A Tabela 4 mostra os valores de implementação para talhas elétricas com capacidade de até 6Ton com sistema regenerativo.

Tabela 4 – Valores para aplicação com sistema regenerativo
Equipamentos para motor até 7,5kW Valor em Reais

PM250	R\$ 2.940,00
CU240B-2	R\$ 350,00
BOP-2	R\$ 120,00
Valor total	R\$ 3.410,00

Para aplicação em uma talha de 6 Ton, ou seja, quando utilizamos um motor de 7,5kW, sem sistema regenerativo, pode ser observado os valores na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores para talha de 6 Ton sem regeneração
Equipamentos para motor de 7,5kW Valor em reais

G120C	R\$ 1.725,00
BOP-2	R\$ 120,00
Resistor de frenagem SEW 2kW – 47 ohms	R\$ 850,00
Valor total	R\$ 2.695,00

Os valores para a aplicação em uma talha de 3 Ton, ou seja, quando utilizamos um motor de 3,7kW, sem sistema regenerativo, pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores para talha de 3 Ton sem regeneração

Equipamentos para motor de 3,7kW	Valor em Reais
G120C	R\$ 1.250,00
BOP-2	R\$ 120,00
Resistor de frenagem SEW 1kW – 68 ohms	R\$ 650,00
Valor total	R\$ 2.020,00

Observando as três tabelas com os valores para cada aplicação, podemos concluir que para a talha de 6 toneladas, é viável a implementação do sistema sem regeneração, cerca de 20% de economia em relação ao sistema regenerativo.

Para a talha de 3 Ton, a implementação do sistema de acionamento com inversor convencional e resistor também se torna viável, porém mais atrativa. A economia de 40% nesta aplicação em relação ao com sistema regenerativo, pode ser muito bem aceita para melhores resultados de vendas.

Além disso, outra vantagem do sistema convencional para talha de 3 Ton, é que o tamanho do inversor comum é em torno de 40% menor que o inversor regenerativo, podendo ser acomodado em um quadro de comando menor, gerando assim uma economia nos componentes de montagem do mesmo. Mesmo que o resistor tenha um tamanho considerável, ele é instalado na parte superior externa da caixa, não interferindo no custo do quadro de comando.

3.2 RESULTADOS

Os resultados da aplicação prática foram positivos, pois os dois problemas que estavam sendo apresentados foram solucionados por meio de programação e estudos desenvolvidos especialmente para o equipamento em questão.

Todos objetivos foram alcançados, foi aplicado com sucesso um sistema convencional em substituição a um sistema com capacidade regenerativa, porém ao invés de fazer os testes na prática em um motor de 3,7kW, como proposto, somente estava disponível um motor de 7,5kW fornecido por um cliente.

Entretanto, após esse estudo, a empresa Servitec colocou em funcionamento um equipamento de 3 Ton, com um motor de 3,7kW e os resultados foram positivos também. A talha funcionou perfeitamente sem apresentar erros.

Porém o equipamento não foi instalado em Caxias do Sul, e o cliente não tinha disponibilidade de espaço e tempo para podermos realizar mais testes e a comprovação por meio de gráficos e filmagens como foi feito neste trabalho.

A empresa já está fazendo o uso dos cálculos e colocando em prática todo estudo desenvolvido neste trabalho de estágio, gerando satisfação para a Servitec e seus clientes.

4 CONCLUSÕES

- Os problemas de sustentação da carga e erro no barramento CC puderam ser solucionados.
- O sistema convencional pode ser implementado em substituição do sistema regenerativo e obteve bom desempenho.
- Houve redução de custos considerável. Cerca de 40% de economia relacionado o sistema regenerativo com o sistema convencional em uma talha de 3Ton.
- O sistema proposto já foi implementado em um cliente após esse estudo, porém a empresa não disponha de tempo e espaço necessários para obtenção de dados por meio de testes.
- Por fim, todos os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados.

REFERÊNCIAS

BAÚ FILHO, Plínio Carlos. **Frenagem Regenerativa: um estudo aplicado e elevadores**. Projeto de Diplomação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica, Graduação em Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2011.

CAPELLI, Alexandre. **Mecatrônica industrial**. São Paulo: Editora Saber, 2002.

ELETRODIGITAL. **Tabelas de Fios e Cabos**. 2012. Disponível em: <[http://eletrodigital.com.br/tabelas-de-fios-e-cabos/#!lightbox\[2097\]/1/](http://eletrodigital.com.br/tabelas-de-fios-e-cabos/#!lightbox[2097]/1/)>. Acesso em 30 mai. 2015.

FOUREAUX, Nicole C. et al. **Viabilidade de Recuperação de Energia Local Utilizando Supercapacitores em Conversor de Frequências Industrial Padrão**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática. p.1871-p.1878 – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Elétrica, Laboratório TESLA Engenharia de Potência, Belo Horizonte, 2014.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. São Paulo: Editora Érica, 4.ed. 2014.

MASCHERONI, José M.; LICHTBLAU, Marcos; GERARDI, Denise WEG AUTOMAÇÃO. **Guia de aplicação de inversores de frequência**. Jaraguá do Sul, SC: 2013 Weg, 1.ed. 238 p.

PRYSMIAN Cables and Systems. **Cabos isolados: Afumex 0,6/1KV**. 2015. Disponível em: <http://br.prysmiangroup.com/br/files/afumex_1kv.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2015.

SEW Movidrive. **Manual de sistema: Movidrive – MDX60B/61B**. 2005. Disponível em: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/LC_pt-BR_manualdesistemamovidrive.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2015.

SEW Movidrive. **Manual de sistema: Movitrac B**. 2011. Disponível em: <<http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16964993.pdf> >. Acesso em: 07 mai. 2015.

SIEMENS AG. **Sinamics G120C: List manual**. Ed.4. 2014. Disponível em: <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/780/99683780/att_86235/v1/G120C_List_Manua1_LH13_0414_eng.pdf >. Acesso em: 09 mar. 2015.

SIEMENS BR. **Sinamics G120C: Pequeno, mas com inúmeras funções**. 2014. Disponível em: <[http://w3.siemens.com.br/drives/br/pt/conversores/conversores-bt/sinamicsv/sinamics-v20/documentacao/catalogos/Documents/SINAMICS%20G120C%20\(PT\).pdf](http://w3.siemens.com.br/drives/br/pt/conversores/conversores-bt/sinamicsv/sinamics-v20/documentacao/catalogos/Documents/SINAMICS%20G120C%20(PT).pdf) >. Acesso em: 07 mar. 2015.

SILVA, Clodoaldo. **Inversores de frequência**. 2009. Disponível em: <<http://www.clubedaeletronica.com.br/Eletricidade/PDF/Inversor%20de%20frequencia.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

TESSARO. **Ponte Rolante Univiga**. 2015. Disponível em: <<http://www.tessaro.ind.br/produtos/univiga/> >. Acesso em: 07 mai. 2015.

APÊNDICE A – LISTA DE PARÂMETROS

Parâmetro	Função	Ajustado	Função
P0730	Define a fonte de sinal para a saída digital de acionamento do freio	52.1	Ajuste do relé do freio quando o inversor estiver em funcionamento (ON /OFF)
P0840	Define a fonte do sinal para o comando "ON / OFF"	V1025	Seleciona 0 OFF e 1 para ON
P1001	Ajuste de velocidade fixa 1	800	Valor em RPM da velocidade baixo horário
P1002	Ajuste de velocidade fixa 2	800	Valor em RPM da velocidade baixa anti-horário
P1005	Ajuste de velocidade fixa 5	1700	Valor em RPM da velocidade alta horário
P1006	Ajuste de velocidade fixa 6	1700	Valor em RPM da velocidade alta anti-horário
P1016	Define o modo de ajuste de velocidade fixa	2	Binário
P1020	Define a fonte do sinal para a seleção do valor nominal de velocidade fixa.	V722.0	Seleciona a velocidade estabelecida em P1001
P1021	Define a fonte do sinal para a seleção do valor nominal de velocidade fixa.	V722.1	Seleciona a velocidade estabelecida em P1002
P1022	Define a fonte do sinal para a seleção do valor nominal de velocidade fixa.	V722.2	Seleciona a velocidade estabelecida em P1005 e P1006
P1070	Define a fonte do sinal para o ponto de ajuste principal.	V1024	Seleciona como fonte de acionamento as velocidades fixas
P1225	Define a configuração de freio	3	Sistema de controle de frenagem
Setup	Ajustes do Motor		
P100	Define as configurações de energia do motor	2	Configura para leitura em KW

P304	Tensão nominal do motor	380	Tensão lida na placa de identificação do motor
P305	Corrente nominal do motor	6.8	Corrente lida na placa de identificação do motor
P307	Potência nominal do motor	3	Potência lida na placa de identificação do motor
P311	Velocidade nominal do motor	1715	Velocidade em RPM lida na placa de identificação do motor
P1120	Rampa da aceleração	1	Ajuste de tempo em segundos
P1121	Rampa de desaceleração	1	Ajuste de tempo em segundos
P1900	Reconhecimento do motor	2	Leitura de parâmetros do motor via injeção de tensão e corrente sem movimentação.

APÊNDICE B – TABELA DE SELEÇÃO DE CONDUTORES

TABELA DE CAPACIDADE DE CORRENTE PARA CABOS DE ENERGIA DADOS DIMENSIONAIS PARA INSTALAÇÕES					
Seção dos Fios e Cabos	Diâmetro	Resistência Elétrica Maxima	Corrente máx. p/ até 3 condutores isolados ao ar livre	Corrente máx. p/ até 3 condutores no Eletroduto	Bitola dos Eletrodutos p/ até 3 condutores isolados
mm ²	mm	Ohms/Km	Ampéres	Ampéres	Polegadas
0,50	0,80	3,60	6,5	6,0	1/2
0,75	0,98	2,45	10,00	9,0	1/2
1,00	1,13	1,81	13,5	12,0	1/2
1,50	1,38	1,21	17,5	15,5	1/2
2,50	1,78	7,41	24,00	21,0	1/2
4,00	2,25	4,61	32,00	28,0	1/2
6,00	2,76	3,08	41,00	36,0	1/2
10,00	3,57	1,83	57,00	50,0	1.0
16,00	4,50	1,15	76,00	68,0	1.1/4
25,00	5,65	0,727	101,00	89,0	1.1/4
35,00	6,70	0,524	125,00	111,0	1.1/2
50,00	8,00	0,387	151,00	134,0	2.0
70,00	10,70	0,268	192,00	171,0	2.0
95,00	12,60	0,193	232,00	207,0	2.1/2
120,00	14,20	0,153	269,00	239,0	2.1/2
150,00	15,75	0,124	309,00	272,0	3.0
185,00	17,65	0,0991	353,00	310,0	4.0
240,00	20,25	0,0754	415,00	364,0	4.0
300,00	22,68	0,0601	473,00	419,0	4.0

Fonte: Adaptado de Eletrodigital (2012)