

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

JHONNY LINCOLN CARRANO CARLESSO

**AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO INDUSTRIAL PARA
MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2015

JHONNY LINCOLN CARRANO CARLESSO

**AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO INDUSTRIAL PARA
MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Sola

PONTA GROSSA

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO INDUSTRIAL PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

por

JHONNY LINCOLN CARRANO CARLESSO

Este(a) Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado(a) em 01 de Dezembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Antônio Vanderley Herrero Sola
Prof. Orientador

Prof. Me. Alexandre Junior Fenato
Membro titular

Prof. Me. Pécio Luiz Karram de Miranda
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo
apoio incondicional em todos os
momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, de maneira geral, a todos aqueles que estiveram ao meu lado durante a vida acadêmica: amigos, colegas, professores e familiares.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Sola, pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores desta instituição, pelo empenho e dedicação demonstrados no decorrer do curso.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

CARLESSO, Jhonny L.C. **Automação de um sistema de exaustão industrial para aumento de eficiência energética**. 2015. Número total de folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

O presente trabalho explora uma oportunidade de melhoria existente em um sistema de exaustão industrial instalado em uma indústria de transformação de borracha, com o desenvolvimento de uma solução para automatizar o acionamento deste sistema de exaustão, reduzindo o seu consumo de energia elétrica e conseqüentemente o seu custo operacional, com um retorno previsível do investimento necessário para a implantação da solução proposta. Inicialmente foi realizada uma análise deste sistema de exaustão e do processo ao qual ele é aplicado, a qual apontou a causa da baixa eficiência do sistema. Baseado nesta análise foi desenvolvido um projeto de melhoria deste sistema. Neste projeto foi desenvolvida uma lógica de controle discreto para tornar o sistema de exaustão automático e dimensionado uma chave de partida soft-starter para acionamento do motor elétrico do exaustor centrífugo. Desenvolveu-se também um estudo de viabilidade econômica do projeto proposto.

Palavras-chave: Eficiência energética. Ventilador. Acionamentos de motores. *Soft-starter*.

ABSTRACT

CARLESSO, Jhonny L. C. Prenome do Autor do Trabalho. **Automation of an industrial exhaust system to increase energy efficiency.** 2015. Número total de folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2015.

This paper takes advantage of an improvement opportunity of an industrial exhaust fan system installed in a rubber processing factory, developing a solution to automate control of this system, reducing its energy consumption and operating cost, with a predictable investment return. The automation project was preceded by an analysis of this exhaust system and the process to which it is applied and this analysis showed the cause of low efficiency of system. Based on this analysis has been developed an improvement project of this system. In this project one discrete control logic is designed to automate the exhaust system and dimensioned one electronic drive soft-starter to drive the electric motor of the exhaust fan. It developed also an economic feasibility study of the proposed project.

Keywords: Energy efficiency. Fan. Motors Drives. Soft-starter

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Esboço de ventilador centrifugo..... | 19 |
| Figura 2 - Sentido de fluxo do ventilador centrifugo..... | 19 |
| Figura 3 - Ventilador axial..... | 20 |
| Figura 4 - Rotor tipo Gaiola de Esquilo..... | 22 |
| Figura 5 - Perspectiva em corte de um MIT..... | 22 |
| Figura 6 - Esquema multifilar para partida direta..... | 24 |
| Figura 7 - Esquema multifilar para partida estrela – triangulo..... | 25 |
| Figura 8 - Esquema multifilar para partida compensada..... | 27 |
| Figura 9 - Forma de onda proporcional ao ângulo de disparo | 28 |
| Figura 10 - Diagrama de ligação de uma soft-starter..... | 29 |
| Figura 11 - Diagrama de blocos de um CLP..... | 32 |
| Figura 12 - Ciclo do CLP..... | 33 |
| Figura 13 - Sistema de exaustão..... | 38 |
| Figura 14 - Linhas do tempo: Exaustor x Autoclaves..... | 40 |
| Figura 15 - Quadro de valor tarifário da Copel..... | 42 |
| Figura 16 - Planilha de cálculo do custo operacional..... | 43 |
| Figura 17 - Fluxograma lógica de acionamento do exaustor..... | 46 |
| Figura 18 - Interface SDW 4.0 – Dados do motor..... | 47 |
| Figura 19 - Interface SDW 4.0 – Dados do motor (página 2) | 47 |
| Figura 20 - Interface SDW 4.0 – Dados do motor (página 3)..... | 48 |
| Figura 21 - Interface SDW 4.0 – Dados da aplicação..... | 48 |
| Figura 22 - Gráficos de partida com rampa de tensão | 49 |
| Figura 23 - Gráficos de partida com limitação de corrente..... | 49 |
| Figura 24 - Relatório SDW 4.0..... | 50 |
| Figura 25 - Chave de partida SSW 06..... | 50 |
| Figura 26 - Especificação de fusíveis para SSW06..... | 51 |
| Figura 27 - Diagrama elétrico..... | 51 |
| Figura 28 - Configuração do modelo do drive..... | 52 |
| Figura 29 - Relatório de parâmetros alterados..... | 53 |
| Figura 30 - Orçamento dos materiais/ mão de obra..... | 53 |
| Figura 31 - Custo atual x Custo propost | 54 |
| Figura 32 - VPL do projeto..... | 55 |
| | |
| Gráfico 1 - Curva típica do conjugado | 24 |
| Gráfico 2 - Rampa de tensão | 30 |
| Gráfico 3 - Representação gráfica da corrente limitada | 31 |
| Gráfico 4 - Evolução do VPL | 55 |

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Fator de sobrecarga para soft-starter..... | 29 |
| Quadro 2 - Dados de placa do motor..... | 39 |
| Quadro 3 - Descrição das entradas e saídas..... | 45 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------|--|
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| COPEL | Companhia Paranaense de Energia |
| MIT | Motor de Indução Trifásico |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| VPL | Valor Presente Líquido |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 TEMA..... | 11 |
| 1.1.1 Delimitação do Tema..... | 12 |
| 1.2 PROBLEMA..... | 12 |
| 1.3 HIPÓTESE/PREMISSA..... | 13 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.4.1 Objetivo Geral..... | 13 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 14 |
| 1.5 JUSTIFICATIVA..... | 14 |
| 1.6 METODOLOGIA..... | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 16 |
| 2.1 EFICIÊNCIA ENERGETICA..... | 16 |
| 2.2 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL..... | 17 |
| 2.3 VENTILADORES INDUSTRIAIS..... | 18 |
| 2.3.1 Ventilador Centrífugo..... | 18 |
| 2.3.2 Ventilador Axial..... | 20 |
| 2.4 MOTORES ELÉTRICOS..... | 20 |
| 2.4.1 Motor de Indução Trifásico Gaiola de Esquilo..... | 21 |
| 2.5 ACIONAMENTOS ELÉTRICOS..... | 23 |
| 2.5.1 Partida Direta..... | 24 |
| 2.5.2 Partida estrela - triângulo..... | 25 |
| 2.5.3 Partida Compensadora..... | 26 |
| 2.5.4 Partida Eletrônica Soft-starter..... | 27 |
| 2.5.4.1 Acionamento em rampa de tensão..... | 30 |
| 2.5.4.2 Acionamento com limitação de corrente de partida..... | 31 |
| 2.6 CONCEITO DE AUTOMAÇÃO..... | 31 |
| 2.6.1 Controlador Lógico Programável..... | 32 |
| 2.7 ENGENHARIA ECONÔMICA..... | 33 |
| 2.7.1 Valor Presente Líquido..... | 34 |
| 3 METODOS E MATERIAIS..... | 36 |
| 4 ANÁLISES E RESULTADOS..... | 38 |
| 4.1 ANÁLISE DO SISTEMA EXAUSTOR..... | 38 |
| 4.1.1 Operação do Sistema de Exaustão..... | 39 |
| 4.1.2 Custo Operacional do sistema Exaustor..... | 41 |
| 4.2 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA EXAUSTOR..... | 43 |
| 4.2.1 Lógica de Acionamento..... | 44 |
| 4.2.2 Dimensionamento da soft-starter..... | 46 |
| 4.2.3 Parametrização da soft-starter..... | 52 |
| 4.3 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO..... | 53 |
| 4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA..... | 54 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 57 |
| REFERÊNCIAS..... | 58 |
| ANEXO A - Relatório SDW 4.0..... | 60 |
| ANEXO B - Lista de parâmetros da SSW 06..... | 62 |

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo fundamental para todos os ramos da indústria e representa um dos custos mais significativos para uma empresa. As dificuldades para a geração de energia elétrica e o alto custo de transmissão e distribuição, aliados a crescente demanda de energia, resultam em tarifas cada vez maiores.

O crescente aumento da competitividade do mercado torna o gerenciamento dos custos operacionais de uma indústria uma ferramenta fundamental para a manutenção de sua saúde financeira. Identificar fontes de desperdício e executar ações para diminuir ou eliminar o mesmo, torna-se necessário para manter-se competitivo.(BARROS,2013)

Considerando que a maior parte da energia elétrica disponível comercialmente é gerada por fontes que de alguma forma impactam o meio ambiente, Mamed (2010) defende a necessidade de aumentar a eficiência dos aparelhos consumidores, para dessa forma, preservar as fontes geradoras existentes, evitando um maior impacto no meio ambiente.

A automação pode ser aplicada como uma solução para este uso racional de energia, pois com um controle automático desenvolvido para este objetivo, máquinas e equipamentos podem operar com maior eficiência, ou seja, realizar o trabalho para o qual foram projetados com um menor consumo de energia, o que irá resultar em um custo operacional reduzido. Em muitos casos, automatizar um equipamento resulta em uma redução de custos que em um curto prazo supera o valor investido no projeto de automação.

1.1 TEMA

Este trabalho de conclusão de curso apresenta-se como um projeto de melhoria de uma etapa de um processo industrial com baixa eficiência energética. O trabalho é baseado em um sistema de exaustão industrial operante em uma indústria de transformação de borracha, com o desenvolvimento de uma solução para automatizar o acionamento deste sistema de exaustão, reduzindo o consumo de energia elétrica necessário para a execução deste processo de forma eficaz.

1.1.1 Delimitação do Tema

O projeto desenvolvido neste trabalho não aborda a substituição das tecnologias e mecanismos aplicados no processo industrial em questão, no entanto propõe a automação do acionamento do motor elétrico do sistema, utilizando técnicas de automação de controle discreto, sendo a lógica de controle desenvolvida em um fluxograma, para posteriormente ser reescrita em linguagem de programação. Para o acionamento do motor, foram dimensionados componentes elétricos que atendem às necessidades da aplicação.

Para análise da viabilidade econômica do projeto, foi aplicado o método do Valor Presente Líquido – VPL, o qual foi calculado considerando o orçamento com o custo para a implantação do projeto, e o valor de retorno com a economia na fatura de energia elétrica prevista com a implantação do projeto.

1.2 PROBLEMA

Uma oportunidade para desenvolvimento de uma solução tecnológica para conservação de energia se encontra em uma indústria de transformação de borracha, onde está instalado em uma linha de vulcanização por autoclaves, composta por 5 autoclaves que operam simultaneamente, um sistema de exaustão para retirada de fumaça e gases provenientes deste processo, liberados no instante de abertura das autoclaves.

Este sistema de exaustão atualmente funciona ininterruptamente, resultando em um consumo de energia desnecessário, visto que o processo de vulcanização é realizado em ciclos de 20 minutos, onde as autoclaves permanecem fechadas. É apenas no intervalo entre os ciclos, momento em que as autoclaves se abrem para a retirada do material vulcanizado e abastecimento de material que será vulcanizado no próximo ciclo, que ocorre a liberação de gases no ambiente. Este intervalo entre os ciclos dura aproximadamente 10 minutos.

Automatizar este sistema, desenvolvendo uma forma de controle que permita que o ventilador centrífugo, componente principal deste sistema, seja acionado apenas nos momentos em que ocorre a emissão de gases, resultará diretamente na eliminação do desperdício de energia apresentado. Porém, implicará em que o

motor elétrico opere com um número elevado de partidas se comparado ao cenário atual. Desta forma, faz-se necessário considerar as seguintes indagações:

- Visto que durante a partida a corrente elétrica de motores é elevada consideravelmente, submeter este motor a um maior número de partidas não resultará em perdas que afetem o desempenho do sistema?
- A instalação de uma chave eletrônica de partida *soft-starter* como componente integrante de um projeto de automação será eficaz em minimizar o impacto da elevação do número de partidas do motor?
- A redução do custo operacional do ventilador industrial com a implantação do projeto que será desenvolvido será suficiente de forma a tornar viável do ponto de vista financeiro o investimento necessário?

1.3 HIPÓTESE / PREMISSA

Com o desenvolvimento de uma lógica de controle para acionamento do sistema de exaustão apenas nos intervalos entre os ciclos de vulcanização, e com a instalação de uma chave eletrônica de partida *soft-starter*, estima-se que o consumo de energia e, conseqüente, custo operacional da nova configuração do sistema seja reduzido, de forma a possibilitar o retorno do investimento necessário para o projeto de melhoria em um período de curto a médio prazo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Apresentar uma solução tecnológica para reduzir o consumo de energia elétrica do sistema de exaustão da linha de vulcanização de uma indústria de transformação de borracha, de forma a reduzir o custo operacional deste sistema de exaustão sem comprometer a funcionalidade do mesmo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar fundamentação teórica sobre eficiência energética, ventiladores industriais, acionamento de motores elétricos, e automação industrial.
- Mensurar a potência elétrica consumida pelo sistema de exaustão em sua configuração atual e definir o custo de operação deste sistema.
- Dimensionar os componentes elétricos e de automação necessários para o desenvolvimento da solução proposta.
- Orçar o custo de implantação e de operação da solução a ser proposta e confrontar estes valores com o custo de operação do sistema em sua configuração atual para assegurar a viabilidade de implantação das melhorias propostas.

1.5 JUSTIFICATIVA

O setor industrial é retratado como responsável pelo consumo final de mais de 40% do total da energia elétrica disponível no Brasil. Deste montante, 68% são aplicados para a transformação em força motriz, sendo os ventiladores um dos equipamentos listados entre os que consomem a maior parte desta demanda (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2007).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, órgão criado pelo governo brasileiro em 1985, é responsável diretamente por promover a conservação de energia e medidas de eficiência energética, fazendo isso através da capacitação de profissionais, incentivo, promoção e financiamento de projetos de eficiência energética (MAMED, 2010). Em um manual dedicado ao estudo de ventiladores industriais, o PROCEL declara que fazer com que ventiladores funcionem somente no momento em que são necessários é uma forma eficaz de redução do consumo de energia elétrica (ELETROBRÁS, 2008).

Ao contrário do que possa parecer, a elevação da corrente elétrica durante a partida de motores tem pouca influência no consumo e aumento da demanda, devido ao curto período de tempo da elevação de corrente e baixo fator de potência do motor neste instante, sendo o impacto de maior preocupação a queda de tensão na rede de alimentação, que pode prejudicar outros sistemas como o de iluminação, por exemplo, e o sobreaquecimento do motor em questão, podendo este problema

ser facilmente resolvido com o correto dimensionamento de uma chave de partida *soft-starter*.(MAMED, 2010)

Desta forma, desenvolver uma solução de automação para desligar o exaustor, alvo deste estudo, nos intervalos em que não há necessidade de seu funcionamento demonstra-se como uma alternativa para melhorar a eficiência do sistema de exaustão em questão.

1.6 METODOLOGIA

Inicialmente desenvolveu-se uma pesquisa de campo, que reuniu informações técnicas da construção e operação do sistema de exaustão em questão. Foram coletados os dados de placa do motor do ventilador centrífugo, o tempo de funcionamento do motor e o custo médio do quilowatt-hora aplicado pela concessionária de energia elétrica. Com os dados coletados, foram calculados o consumo de energia e custo financeiro de operação deste sistema em sua configuração atual.

O projeto propõe a automação do acionamento do motor elétrico do sistema, utilizando técnicas de automação de controle discreto, sendo a lógica de controle desenvolvida em um fluxograma, utilizando a linguagem *grafcet*, para posteriormente ser reescrita em linguagem de programação *ladder*. Para o acionamento do motor, foram dimensionados componentes elétricos que atendem as necessidades da aplicação.

O método aplicado para análise da viabilidade financeira do projeto, o método do Valor Presente Líquido – VPL, foi calculado considerando o orçamento com o custo para a implantação do projeto, e o valor de retorno com a economia na fatura de energia elétrica prevista com a implantação do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência energética pode ser definida como um método de trabalho que tem o objetivo de otimizar o uso da energia elétrica por meio de orientações, direcionamentos, ações e controles dos recursos aplicados, reduzindo os índices específicos de quantidade de energia necessária para a obtenção do mesmo resultado ou produto (CAPELLI, 2013). Panesi (2006) destaca a diferença entre eficiência energética e racionamento de energia, descrevendo o segundo termo como a redução do serviço energético, enquanto o primeiro termo refere-se à redução de energia necessária para realizar o mesmo trabalho.

Com as recorrentes ameaças de racionamento de energia elétrica nos últimos anos e com a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável, o uso eficiente de energia elétrica tem sido o tema de inúmeras discussões e estudos, que procuram meios de viabilizar a economia de energia, sem que para isso seja necessário produzir menos.

Considerando que a maior parte da energia elétrica disponível comercialmente é gerada por fontes que de alguma forma impactam o meio ambiente, Mamed (2010) defende a necessidade de aumentar a eficiência dos aparelhos consumidores, para dessa forma, preservar as fontes geradoras existentes evitando um maior impacto no meio ambiente. Dentre os benefícios resultantes de programas de eficiência energética podem-se destacar o aumento da produtividade e competitividade nas empresas, impacto positivo na economia e redução de emissões atmosféricas e impacto ao meio ambiente (PANESI, 2006).

O mercado de Eficiência Energética, principalmente no setor industrial, apresenta-se também como uma alternativa de redução de custos necessária para manter-se competitivo, considerando o crescente aumento do preço da energia elétrica no Brasil.

Uma unidade consumidora de energia pode ser considerada eficiente quando consegue implementar ações capazes de aumentar ou manter sua produtividade otimizando o uso de energia. Ações estas que vão desde a readequação de um sistema de iluminação ou climatização, até a substituição de equipamentos produtivos por outros mais eficientes, com baixo consumo de energia.

No entanto, qualquer mediada a ser tomada relacionada com a eficiência energética que envolva aplicação de recursos financeiros precisa ser precedida por um estudo que justifique a necessidade de tal investimento. Segundo Mamed (2010), todos os projetos elétricos devem buscar a eficiência operacional, mas declara que “não é razoável adotar medidas para eficientizar um projeto elétrico a qualquer custo”. Da mesma forma Barros (2013) sugere a realização de um diagnóstico baseado em conceitos teóricos e práticos para identificar e quantificar as perdas existentes nas instalações.

Projetos de eficiência de energia elétrica, quando bem elaborados e executados, resultam em benefícios no aspecto sócio-ambiental, preservando as fontes geradoras de energia e assim gerando benefícios coletivos a sociedade. Mas os resultados positivos são observados também no aspecto econômico das organizações que adotam este perfil, que ganham com aumento da competitividade, redução de custos operacionais e conseqüente geração de capital para aplicação em outros projetos.

2.2 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Os sistemas de ventilação industrial, em geral são conjuntos eletromecânicos aplicados ao controle de temperatura, distribuição de ar ou remoção de gases e partículas sólidas poluidoras de um ambiente, como fumaça, vapores, poeiras, nevoas ou microorganismos, proporcionando conforto ou condições adequadas para trabalho neste ambiente (MACINTYRE, 1990).

Classifica-se a ventilação industrial em dois tipos principais: geral diluidora e local exaustora. A ventilação geral diluidora é aplicada em situações onde não se pode identificar uma fonte específica dos agentes poluidores do ambiente, desta forma utiliza um ventilador para transferir ar limpo para dentro do ambiente e assim renovar o ar presente. A ventilação local exaustora é realizada através de um conjunto de equipamentos, sendo estes um ventilador instalado em local externo, dutos para condução dos gases transportados e um captor instalado no local da fonte poluidora. Desta forma os agentes poluidores são removidos do local antes que sejam dissipados pelo ambiente.

2.3 VENTILADORES INDUSTRIAIS

Ventiladores industriais podem ser definidos como turbo máquinas operatrizes que transformam a energia mecânica transmitida por um motor elétrico em energia cinética capaz de deslocar gases, fluídos e até mesmo partículas sólidas dependendo do projeto de concepção (MACINTYRE, 1997).

A função básica de um ventilador é mover uma quantidade de ar através um sistema de ventilação a ele conectado. Desse modo o ventilador deve gerar pressão suficiente para vencer as perdas do sistema e uma pressão dinâmica para manter o ar em movimento. Estes mecanismos apresentam uma elevada carga inercial para o motor elétrico no momento de partida. Por este motivo, os ventiladores centrífugos são destacados entre os equipamentos industriais que podem causar impactos negativos na eficiência de um processo (PROCEL, 2009).

No ambiente industrial os ventiladores possuem diversas aplicações, sendo as principais na ventilação forçada para dissipação de calor em equipamentos como motores e resistências, ventilação para sistemas de climatização, exaustão para sistemas de remoção de gases ou transporte pneumático de material sólido.

Os ventiladores industriais são classificados em dois tipos básicos de acordo com a sua forma construtiva, sendo estas: Ventiladores radiais ou centrífugos e ventiladores axiais.

2.3.1 Ventilador Centrifugo

Os ventiladores centrífugos são constituídos de um rotor, que gira dentro de uma carcaça em forma de voluta. Este rotor é formado por pás distribuídas radialmente formando um rotor parecido com um cilindro. Neste mecanismo o fluxo de deslocamento dos gases ocorre radialmente, ou seja, do centro para fora do conjunto, de forma semelhante a uma bomba centrífuga para líquidos. O rotor gira dentro de uma carenagem especial que dirige o fluxo para uma única saída.

A carcaça possui uma entrada no mesmo sentido do eixo do rotor e uma saída perpendicular à entrada, como mostram as figuras 1 e 2. O movimento de rotação do motor expulsa o ar admitido através do bocal de saída com pressão superior a da entrada. (WOODS, 1970). Grandezas como velocidade e pressão dos gases de saída deste tipo de ventilador estão diretamente relacionadas a forma das

pás do rotor, podendo estes serem diferenciados em ventiladores de hélices radiais retas, hélices curvadas para frente e hélices curvadas para trás.

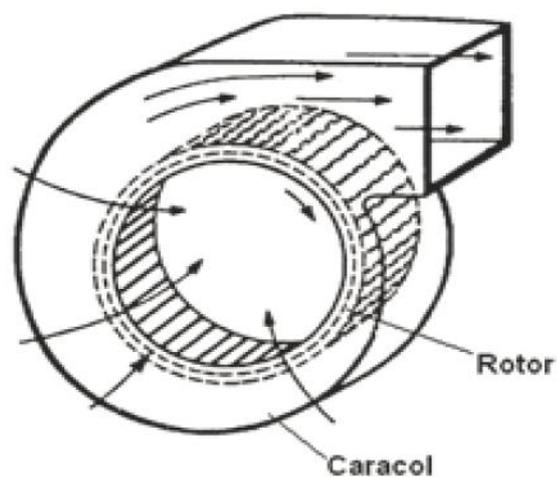


Figura 1 - Esboço de ventilador centrífugo.
Fonte: Clezar e Nogueira (1999).

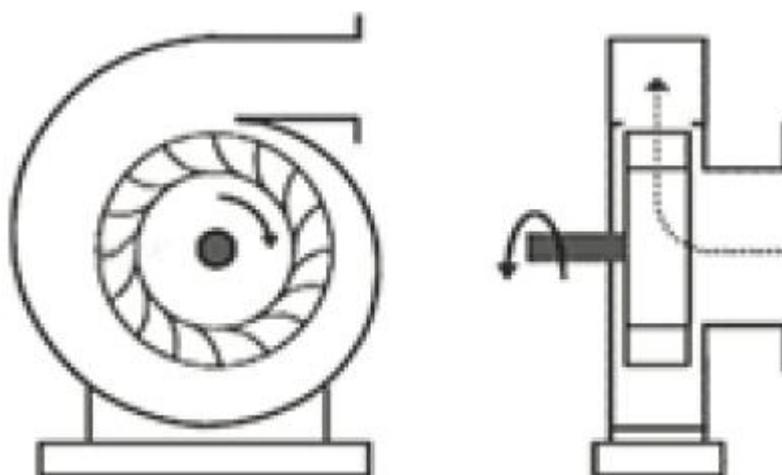


Figura 2 - Sentido de fluxo do ventilador centrífugo.
Fonte: Clezar e Nogueira (1999).

2.3.2 Ventilador Axial

Os ventiladores de fluxo axial são constituídos por pás, ou hélices fixadas a um eixo central, que giram dentro de uma superfície cilíndrica. A vazão desse tipo de instalação pode ser facilmente variada, alterando o ângulo das hélices.

Segundo Woods (1970), os ventiladores de fluxo axial são muito utilizados devido a seu alto desempenho e simples instalação, podendo atingir até 60 mm de coluna d'água. Dependendo da aplicação a que for submetido e a forma que for instalado, o ventilador axial apresenta elevado rendimento, próximos a 80%. Ou seja, da energia mecânica que chega até o eixo, cerca de 80% é transmitida para o ar. Isso é possível porque a direção do fluxo de saída é a mesma do fluxo de entrada. A figura 3 mostra um modelo de ventilador axial.



Figura 3 - Ventilador axial
Fonte: <http://www.france-air.com>

Apesar do alto rendimento, o ventilador axial apresenta algumas desvantagens em relação a outros modelos, sendo estas: dificuldade de manutenção quando instalados em dutos de difícil acesso, alto nível de ruído, em muitos casos superior a 80Db, e exposição de componentes mecânicos como rolamentos, mancais e correias aos gases transportados, limitando a sua aplicação em ambientes de atmosfera agressiva (PROCEL,2009).

2.4 MOTORES ELÉTRICOS

Motores elétricos são máquinas conversoras de energia elétrica em energia mecânica. São baseados no conceito de eletromagnetismo, usando o princípio da reação entre dois campos magnéticos (CREDER, 2005).

Sua forma construtiva e tipos de componentes usados em sua concepção variam de acordo com os vários tipos de motores existentes, que podem ser de corrente contínua, corrente alternada, síncronos ou assíncronos.

Os componentes básicos de qualquer motor são: o estator, composto de material ferromagnético; as bobinas, compostas de fios condutores enrolados e acomodados entre ranhuras do estator; o rotor, também composto de material ferromagnético, pode ser bobinado ou em curto-circuito; os mancais, que suportam o eixo do rotor apoiado em rolamentos e a carcaça, parte externa que suporta todo o conjunto (MAMED, 2010).

Quando alimentadas por corrente elétrica, as bobinas geram um campo magnético no estator, este campo reage com o campo magnético presente no rotor, que é gerado por corrente elétrica aplicada nas bobinas do rotor ou por tensão induzida no caso dos rotores em curto-circuito. A reação entre os campos magnéticos do estator e do rotor, provocam um movimento de rotação do rotor, desta forma convertendo a energia elétrica aplicada ao motor em energia mecânica disponibilizada no eixo do rotor.

Dentre os diversos tipos de motores presentes na indústria, o mais utilizado é o motor de indução trifásico – MIT. Isso ocorre devido a sua forma construtiva simples, que o torna barato e de fácil manutenção.

2.4.1 Motor de Indução Trifásico Gaiola de Esquilo

São projetados para trabalhar a partir de uma fonte trifásica com defasagem de 120° entre fases e possuem rotor em curto-circuito, formado por um núcleo de chapas de material ferromagnético, isoladas umas das outras, sobre o qual são montadas chapas de material condutor ligadas em curto-circuito por dois anéis nas extremidades do rotor (FRANCHI, 2008), como pode ser observado na figura 4. O estator deste tipo de motor, constituído também de chapas de material ferromagnético empilhadas e isoladas entre si, acomoda um conjunto de espiras de fios de cobre isolados, chamados de bobinas que são alimentadas por corrente alternada. A figura 5 mostra uma perspectiva em corte de um MIT.

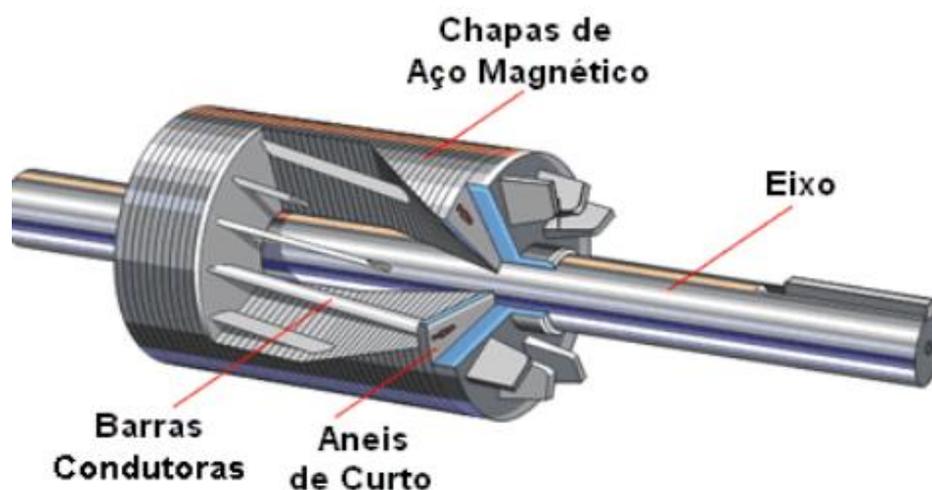


Figura 4 - Rotor tipo Gaiola de Esquilo.
Fonte: WEG,2012.

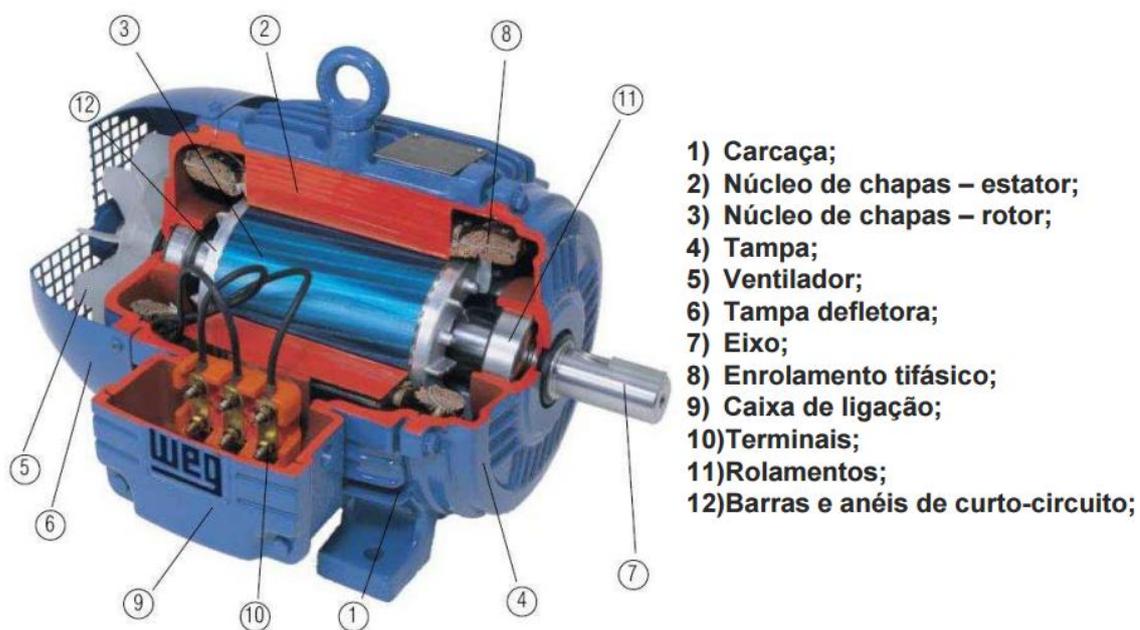


Figura 5 - Perspectiva em corte de um MIT.
Fonte: Weg, 2012.

2.5 ACIONAMENTOS ELÉTRICOS

O instante da partida de um motor elétrico é o momento mais crítico de sua operação, pois para vencer a mudança de estado, saindo do estado de inércia, o motor demanda de uma corrente muito maior do que precisa para se manter em movimento durante seu regime normal de trabalho. Essa elevação da corrente no momento de partida em relação à corrente nominal do motor, está na casa de 6 a 8 vezes, podendo chegar a dez vezes, dependendo da carga aplicada ao eixo do motor (FRANCHI, 2008). Neste momento, um circuito inicialmente projetado para suportar o motor em regime de funcionamento, por um instante é sobrecarregado pela corrente de partida e conseqüentemente o sistema elétrico sofre uma queda de tensão, o que pode prejudicar o funcionamento de outros equipamentos alimentados por este sistema (MAMED, 2010)

Isto posto, o acionamento de motores de alta potência ou sujeitos a um número elevado de partidas deve ser considerado previamente ao projeto de instalação, a aplicação de formas ou dispositivos de partida que suavizem estes impactos.

Existem diversos termos e definições específicas aplicáveis aos sistemas de partida para os MIT e dentre elas, considera-se talvez o mais importante sendo o conjugado ou momento. Por definição, conjugado ou momento, é o conjunto de forças produzido pelo eixo do rotor que provoca o movimento de rotação. O conjugado não é constante do momento da partida até que a velocidade nominal seja alcançada. Essa variação chama-se curva de conjugado, cujos valores são expressos em porcentagem em relação ao conjugado nominal, ou seja, com relação ao conjugado na velocidade a plena carga. Cada motor tem suas próprias curvas de conjugado, que variam com a potência e a velocidade do motor. Assim, em motores de velocidade e potência iguais, mas de fabricantes diferentes, geralmente a curva do conjugado é diferente.

O gráfico 1 apresenta a curva típica do conjugado de um MIT durante a partida.

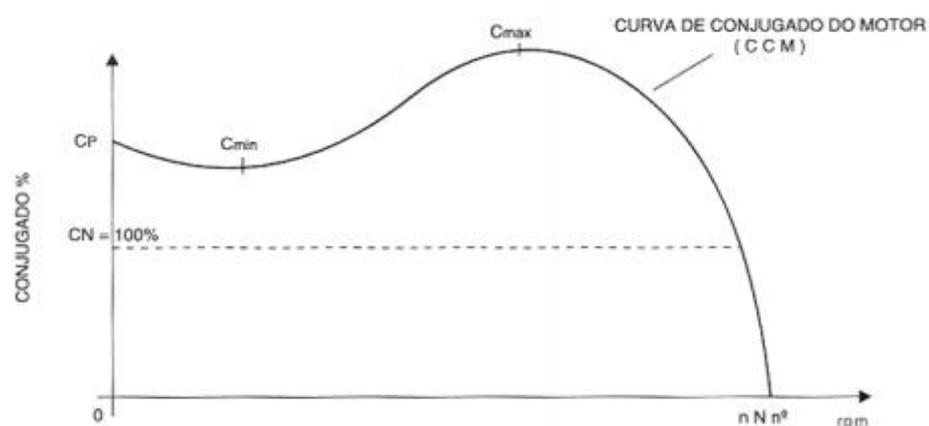


Gráfico 1 - Curva típica do conjugado.
Fonte: Mamed (2010).

2.5.1 Partida Direta

É o modo mais simples de acionamento de um motor elétrico, consiste em um dispositivo de manobra que pode ser acionado local ou remotamente para ligar o motor direto à rede elétrica. Neste tipo de acionamento a proteção do motor é feita por um disjuntor-motor ou um conjunto formado por fusíveis e um relé térmico. A figura 6 mostra o esquema elétrico para uma partida direta.

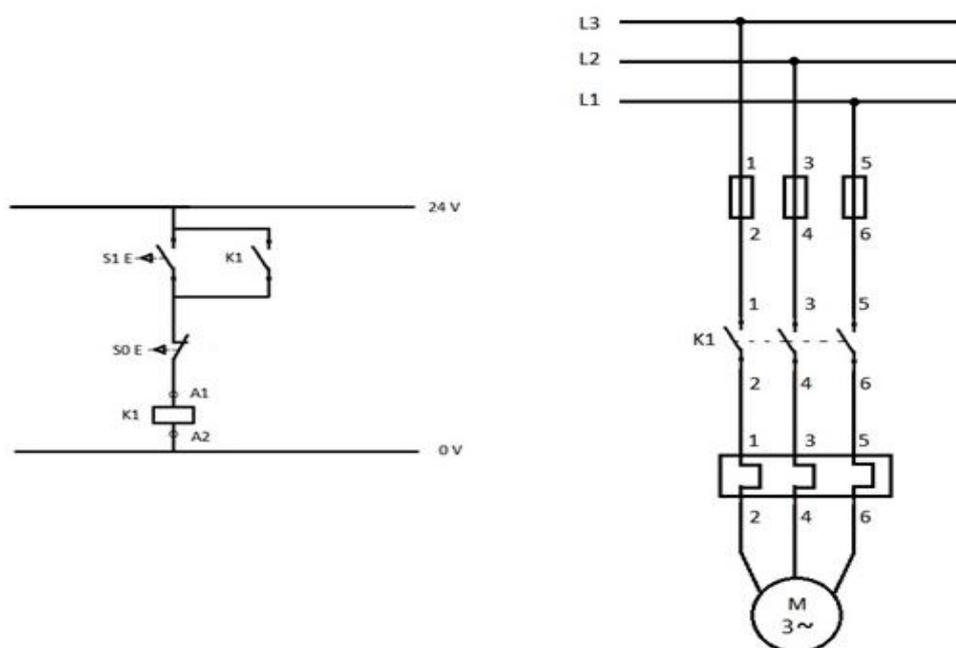


Figura 6 - Esquema multifilar para partida direta
Fonte: sabereletrica.com

Como vantagem deste tipo de partida pode-se citar a simplicidade de instalação e manutenção, baixo custo, alto torque e conjugado elevado do motor. Porém, como mencionado anteriormente, a corrente elevada no momento da partida, que pode chegar a 10 vezes a corrente nominal, é a principal desvantagem deste tipo de acionamento, ficando a partida direta restrita apenas a motores de baixa potência.

2.5.2 Partida Estrela – Triângulo

O objetivo deste tipo de acionamento é reduzir a tensão aplicada aos enrolamentos do estator do motor, para desta forma conseqüentemente, reduzir a corrente do motor no momento de partida. Para isso é preciso ter acesso aos seis terminais dos enrolamentos do estator, que devem ser conectados a três contatores, que serão comutados de forma a realizar a ligação do motor a rede elétrica na configuração estrela durante o momento de partida e trocar esta configuração para a ligação triângulo para o regime de trabalho do motor. A figura 7 mostra o esquema de ligação de uma partida estrela triângulo.

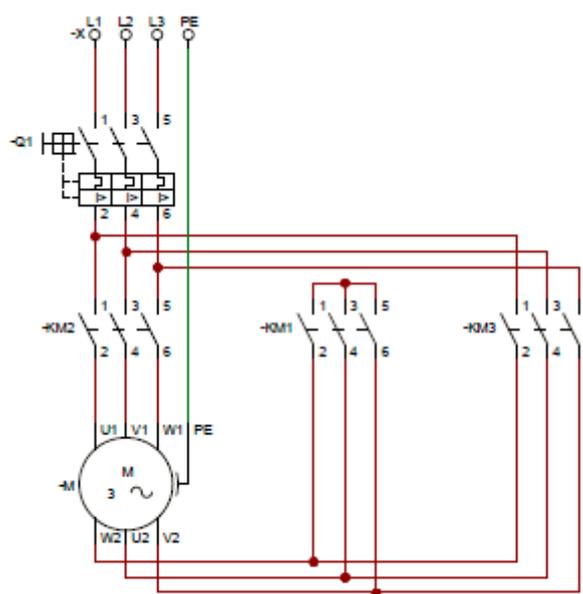


Figura 7 - Esquema multifilar para partida estrela – triângulo.

Fonte: Ensinandoeletrica.blogspot.com

Enquanto ligado em estrela, a tensão aplicada a cada um dos três conjuntos de bobinas do estator do motor será a tensão da rede dividida por raiz de três, de modo que a corrente e o conjugado do motor serão reduzidos durante este período. Após o motor atingir ou aproximar-se de sua rotação nominal, os contatores são manobrados de forma a conectar o motor a rede elétrica em triângulo, e desta forma aplicar sobre as bobinas a tensão da rede, assim permitindo ao motor o trabalho com corrente e conjugado nominais.

É de fundamental importância para este tipo de acionamento que a máxima tensão aplicada ao motor seja a tensão nominal para o motor em triângulo, para evitar que o motor sofra sobreaquecimento. É importante ressaltar que esta partida faz com que o conjugado de partida caia pra 33% do conjugado com partida direta, já que o conjugado varia com o quadrado da tensão de alimentação. Conseqüentemente, o motor deve partir a vazio ou com uma carga muito leve. Além disso, a súbita abertura da ligação em estrela causa um pico de corrente devida à força contra-eletromotriz do motor. Dessa forma, em motores de determinada potência, esse dispositivo não é o ideal, já que o transitório da passagem para a ligação triângulo pode conter picos de correntes ainda altos.

2.5.3 Partida Compensadora

De forma semelhante a partida com chave estrela-triângulo, a partida compensadora visa reduzir o pico de corrente na partida do motor aplicando sobre o estator uma tensão menor do que a tensão nominal. Porém, como a redução de tensão pode ser menor do que na estrela - triângulo, o conjugado de partida disponível é mais alto. A tensão de alimentação fornecida ao motor é derivada de um autotransformador, que possui saídas de tensão nos secundários, com valores padrões de 50%, 65% e 80% da tensão dos primários. A figura 8 mostra o esquema elétrico de uma chave compensadora.

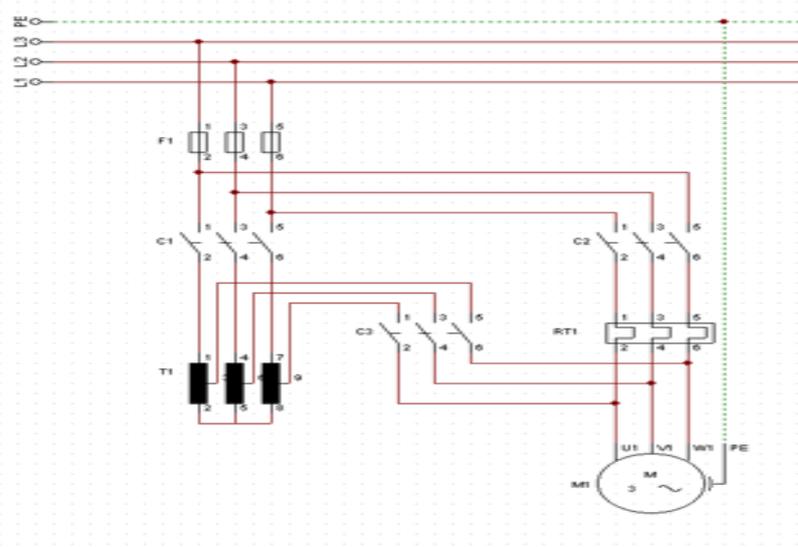
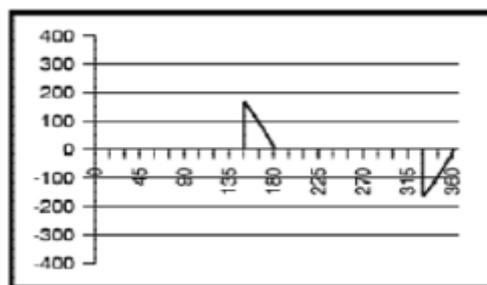


Figura 8 - Esquema multifilar para partida compensada.
 Fonte: etnatrafo.com.br.

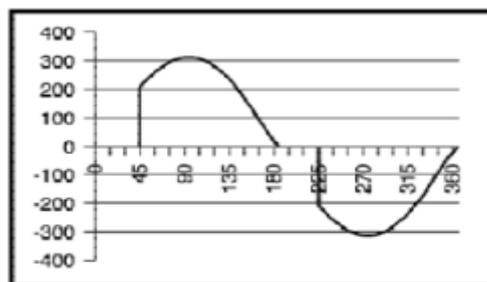
Durante a partida, o motor é alimentado através do autotrafo que fornece ao estator tensão reduzida. Após o motor atingir ou aproximar-se da rotação nominal, ele passará a ser alimentado diretamente pela rede elétrica, atingindo torque e corrente nominais.

2.5.4 Partida Eletrônica *Soft-starter*

As *soft-starters* são chaves de partida baseadas em componentes eletrônicos, destinadas à aceleração, desaceleração e proteção de motores de indução trifásicos. Este dispositivo controla a tensão aplicada ao motor, através do disparo dos tiristores. O ângulo de disparo destes tiristores é controlado através de circuitos eletrônicos microprocessados (MAMED, 2010). Desta forma, apenas uma fração da tensão média disponível na rede é aplicada ao motor no momento da partida. A figura 9 ilustra a forma de onda da tensão aplicada a um MIT proporcional ao ângulo de disparo de um tiristor. Com o ajuste adequado do disparo dos tiristores, o torque produzido pode se ajustar à necessidade da carga, garantindo, dessa forma, que a corrente solicitada seja a mínima necessária para a partida.



Disparo a 150°



Disparo a 45°

**Figura 9 - Forma de onda proporcional ao ângulo de disparo.
Fonte: Novaes**

Nos acionamentos por *soft-starter*, os tiristores entram em funcionamento apenas durante o tempo de partida ou de parada do MIT. Durante todo o período de funcionamento nominal, o circuito de potência se dá por um sistema de *by-pass* dos tiristores, que são necessários apenas nos instantes de partida e parada.

Segundo Mamed (2010), o dimensionamento correto da corrente nominal da chave *soft-starter* pode ser prejudicado pela falta de informações sobre as condições da aplicação a qual o motor é submetido. Por este motivo, este autor sugere que a corrente nominal seja dimensionada de forma prática, multiplicando a corrente nominal do motor por um fator de sobrecarga correspondente ao tipo da aplicação, conforme apresentado no quadro 1. O resultado desta multiplicação é a corrente a ser adotada para a chave de partida.

Quadro 1 – Fator de sobrecarga para *soft-starter*

| Tipo de Máquina | Fator de Multiplicação |
|--------------------------------|------------------------|
| Compressores | 1 |
| Bomba centrífuga | 1 |
| Ventiladores inferiores a 25cv | 1,3 |
| Ventiladores superiores a 25cv | 1,5 |
| Moinhos | 2 |
| Transportadores | 2 |
| Máquinas Centrífugas | 2 |
| Misturadores | 2 |

Fonte: Mamed (2010).

Afigura 10 demonstra um diagrama de ligação de uma *soft-starter* com contator de *bypass*.

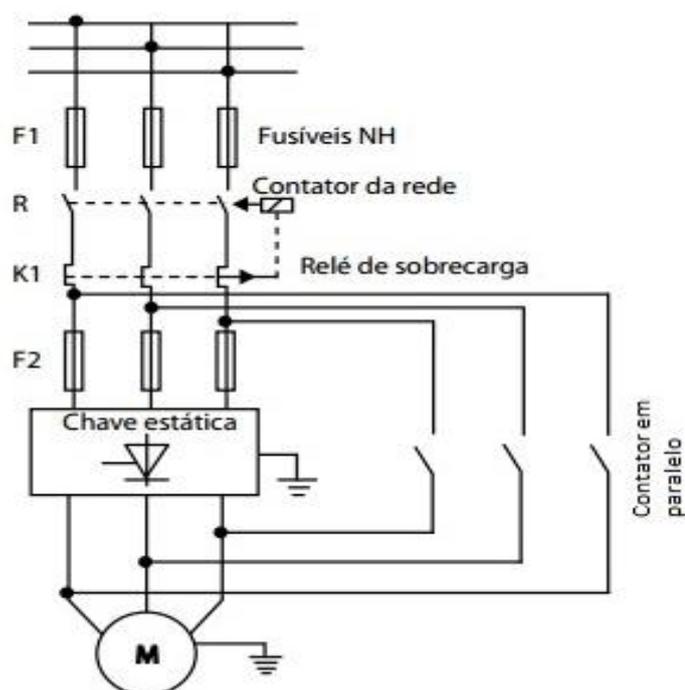


Figura 10 – Diagrama de ligação de uma *soft-starter*.
Fonte: FRANCHI,2008.

2.5.4.1 Acionamento em rampa de tensão

O acionamento de um motor elétrico controlado por rampa de tensão é o principal método de controle quando se utiliza uma *soft-starter*. Este método fornece nos terminais de saída da chave, uma tensão controlada de valor crescente e contínuo, que parte de um valor inicial previamente ajustado (MAMED, 2010). O valor de tensão inicial e tempo total da rampa de aceleração, conforme representados no gráfico 2, precisam ser suficientes para que o motor possa fornecer um conjugado suficiente para elevar a carga a suas condições nominais ao final da rampa, onde a tensão nominal será aplicada ao motor.

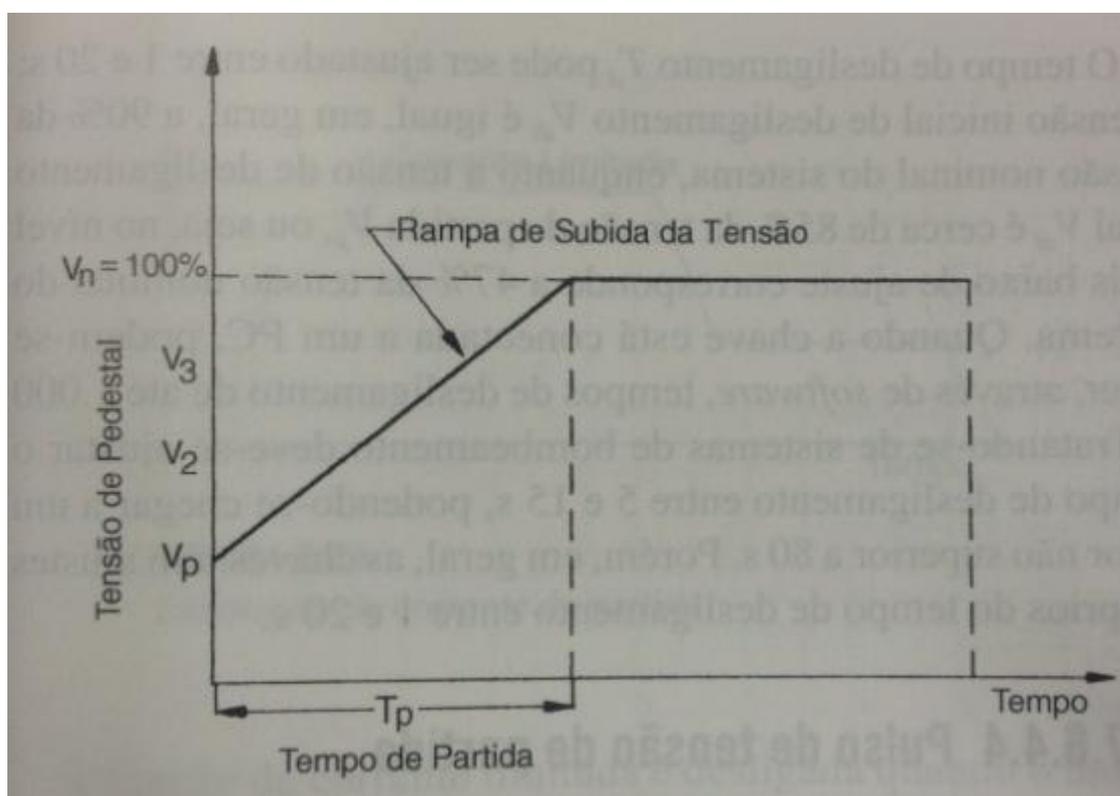


Gráfico 2 - Rampa de tensão.
Fonte: Mamed (2010).

Segundo Mamed (2010) o valor da tensão de partida V_p , é função do tipo de carga que se deseja acionar, sendo o controle de acionamento por rampa de tensão o mais adequado para cargas com conjugado de comportamento quadrático, como bombas e ventiladores centrífugos, que são cargas de alto valor inercial no momento da partida.

2.5.4.2 Acionamento por limitação de corrente de partida.

As chaves de partida *soft-starter* possibilitam que a corrente de partida seja mantida em valor fixo por um determinado período de tempo, dessa forma cargas de alta inércia podem acelerar ao valor nominal com baixo consumo de corrente, sendo esta uma alternativa para acionamento de motores ligados a redes sobrecarregadas (MAMED, 2010). O gráfico 3 demonstra o perfil da corrente elétrica neste tipo de acionamento.

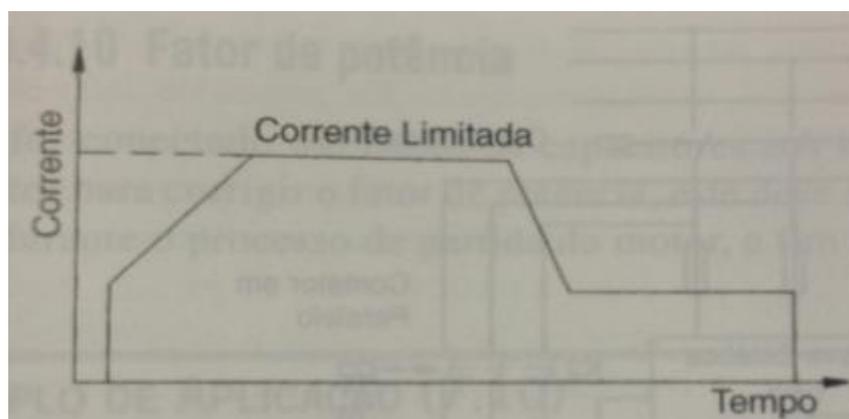


Gráfico 3 - Representação gráfica da corrente limitada.
Fonte: MAMED(2010)

De forma semelhante a partida por rampa de tensão, o tempo de corrente limitada deve ser suficiente para que o motor atinja a velocidade nominal, sendo este tempo diretamente relacionado a aplicação do motor.

2.6 CONCEITO DE AUTOMAÇÃO

A automação consiste em um conjunto de técnicas através das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar de forma eficiente com o uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam (FRANCHI, 2009). Segundo Prudente (2013), um sistema que age sem a ação humana, cumprindo uma ou mais tarefas através de sinais de várias naturezas que provém do sistema a ser controlado pode ser definido como automatizado. Sendo assim, automatizar um sistema significa torná-lo capaz de executar tarefas previamente programadas de forma independente da operação humana, o que pode torná-lo mais preciso, seguro e eficiente.

A automação industrial pode ser dividida em duas classes principais: automação rígida, e automação flexível.

A automação rígida consiste na utilização de comandos elétricos executados por relés eletromecânicos para realizar funções lógicas seqüenciais. Estes sistemas apresentam dificuldades para alteração em sua lógica de funcionamento, visto que estas dependem de alterações físicas nos circuitos elétricos de comando dos relés (FRANCHI, 2009).

A automação flexível utiliza controladores eletrônicos programáveis, que são flexíveis quanto a lógica de atuação sem a necessidade de intervenções em circuitos elétricos. O principal equipamento utilizado para viabilizar projetos de automação é o Controlador Lógico Programável – CLP.

2.6.1 Controlador Lógico Programável.

Desenvolvido visando substituir os painéis de controle com relés e contatores, o CLP inicialmente foi concebido como um controlador eletrônico capaz de executar funções de controle discreto, porém os CLP's atuais tem tecnologia suficiente para realizar tarefas de alta complexidade envolvendo variáveis analógicas e modelos matemáticos (FRANCHI, 2009).

Os CLP's são equipamentos modulares, compostos de uma unidade central de processamento, módulos de entradas digitais ou analógicas, módulos de saídas e módulos de comunicação, conforme o diagrama de blocos da figura 11.

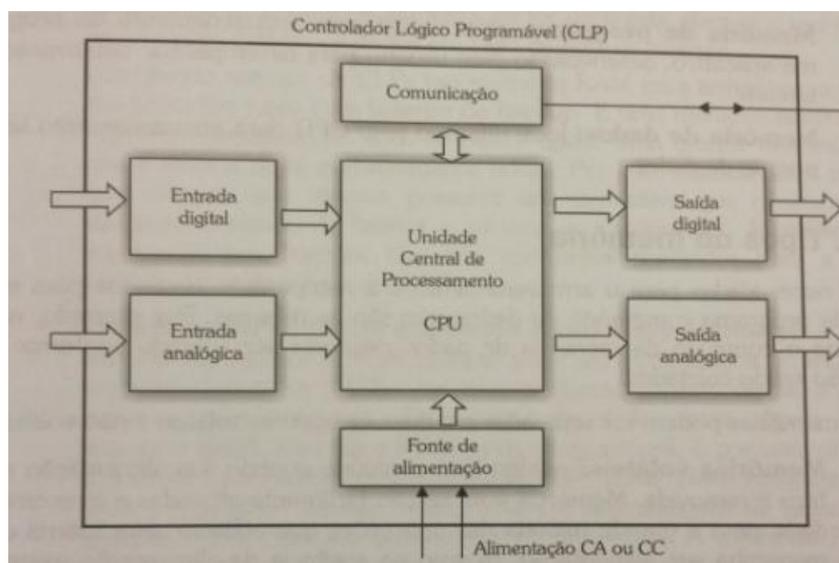


Figura 11 - Diagrama de blocos de um CLP.
Fonte: Franchi, 2009.

A unidade de processamento de um CLP armazena em seus dispositivos de memória um programa lógico de controle. A execução deste programa ocorre de forma cíclica, onde em cada ciclo são recolhidas as informações do estado das entradas e alterados os estados das saídas de acordo com o que está escrito no programa, conforme ilustra o diagrama da figura 12. O tempo de execução deste ciclo é chamado de tempo de *scan*.



Figura 12 - Ciclo do CLP.
Fonte: plcmax.com.br

2.7 ENGENHARIA ECONÔMICA

O estudo de viabilidade de todo projeto é precedido por um estudo da esfera econômica. Com isso é possível identificar dentre várias alternativas de investimentos qual é o projeto mais viável que possua bom retorno. Para que este

estudo seja consistente, deve ser feito com base em estimativas coerentes e confiáveis dos elementos de custos e de receitas. Desta forma, inicialmente deve ser analisado se o lucro projetado é positivo, resultado do fato que as saídas projetadas necessitam ser menores que as entradas. Para Bernstein (2000), quando a decisão de investimento está baseada somente na análise comparativa das receitas entrantes e de saídas referentes aos custos e despesas, resultando em lucro, trata-se de viabilização econômica. Ainda segundo este autor quando a decisão de investir for baseada na disponibilidade de recursos, com a finalidade de se obter o equilíbrio entre as entradas e saídas, considerando o fluxo de caixa, trata-se de viabilidade financeira.

Deste modo, um estudo de viabilidade econômica procura caracterizar um projeto que proporciona lucro aos investidores, sendo capaz de evitar saldos negativos, de forma a proporcionar um fluxo de caixa positivo ao longo da vida útil do projeto. A análise de viabilidade de investimentos deve se concentrar em verificar se os benefícios gerados com os investimentos compensam os gastos realizados (BRUNI, 2003).

2.7.1 Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido – VPL é uma técnica de análise de orçamento de capital, que considera o valor do dinheiro no tempo. Seu valor é obtido subtraindo do valor presente dos fluxos de entrada de caixa e o valor inicial do projeto (GITMAN, 2002).

De acordo com Guerra (2006), o VPL de um fluxo de caixa consiste em calcular o valor presente de uma série de pagamentos ou recebimentos, descontado a uma taxa, e deduzir deste, o valor do fluxo de caixa inicial.

O VPL geralmente é considerado um critério de referência nas decisões de investimentos em projetos. Quando o VPL é superior a zero, demonstra que os fluxos futuros trazidos e somados ao valor presente superam os investimentos. Em uma situação de VPL negativo, geralmente são considerados novos projetos que tenham VPL positivo ou nulo, já que um resultado negativo não é atrativo. Dessa forma, a viabilidade de um projeto existe quando o resultado, do fluxo de caixa futuro descontado ao presente subtraído do capital investido, é positivo (BRUNI, 2003).

Por ser uma ferramenta mais complexa do que outras usadas em análises de investimentos, o VPL pode ser considerado superior ao *Payback* simples. Essa

superioridade deve-se ao VPL representar a lucratividade futura do investimento, considerando o tempo e o tamanho do investimento, assim como o custo de oportunidade do capital investido.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Inicialmente desenvolveu-se uma análise em campo do processo alvo deste trabalho, a qual reuniu informações técnicas da construção e operação do sistema de exaustão em questão. Foram coletados os dados de placa do motor do ventilador centrífugo, o tempo de funcionamento do motor e o custo médio do quilowatt-hora aplicado pela concessionária de energia elétrica. Com os dados coletados, foram calculados o consumo de energia e custo financeiro de operação deste sistema em sua configuração atual e posteriormente o custo de operação previsto após a implantação das melhorias propostas.

O projeto propõe a automação do acionamento do motor elétrico do sistema, sendo a lógica de controle desenvolvida em um fluxograma. Para o acionamento do motor, considerou-se a aplicação de uma *soft-starter*. A escolha este método de acionamento visa minimizar o impacto que a elevação do número de partidas irá causar, sendo a *soft-starter* a opção de melhor custo-benefício, se comparada ao método de acionamento por chave estrela triângulo ou chave compensadora.

Para o dimensionamento da chave *soft-starter* adequada para o acionamento do motor do exaustor centrífugo, utilizou-se o *software* SDW CD 1.4, que é uma ferramenta eletrônica disponibilizada pela fabricante de motores elétricos e componentes para automação WEG. Este *software* permite simular as curvas de tensão, corrente e conjugado no momento da partida do motor, de acordo com as informações fornecidas pelo usuário sobre os dados de placa do motor e da aplicação a que o motor é submetido.

O programa de parâmetros do acionamento com a *soft-starter* foi desenvolvido com o *software* Super Drive G2 disponibilizado pela fabricante de motores e componentes de automação WEG. A parametrização com o Super Drive G2 consiste na criação de um projeto com arquivos eletrônicos de dados para serem transferidos para a *soft-starter* a partir de um computador através de um protocolo de comunicação serial.

O método aplicado para análise da viabilidade financeira do projeto, o VPL, foi calculado considerando o orçamento com o custo para a implantação do projeto, e o valor com a economia na fatura de energia elétrica prevista com a implantação do projeto.

Para execução de cálculos matemáticos e exposição de resultados através de planilhas e gráficos, utilizou-se o *software* Microsoft Excel.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DO SISTEMA DE EXAUSTÃO

Instalado sobre uma linha de vulcanização de borracha composta por 5 autoclaves que operam simultaneamente, este sistema tem a função de remover os gases e fumaças provenientes do processo de vulcanização, os quais são liberados quando as autoclaves são abertas.

Este sistema exaustor é composto por um coletor, dutos de condução de ar e um ventilador centrífugo movido por um motor elétrico, conforme esboçado na figura 13. O acionamento do motor é feito por meio de uma chave estrela-triângulo e a proteção do motor é feita por um relé termo-magnético e fusíveis. Os dados de placa do motor elétrico são apresentados no quadro 2. A correção do baixo fator de potência é realizada por meio de banco de capacitores e controlador de fator de potência centralizado, instalado na entrada de energia da fábrica.

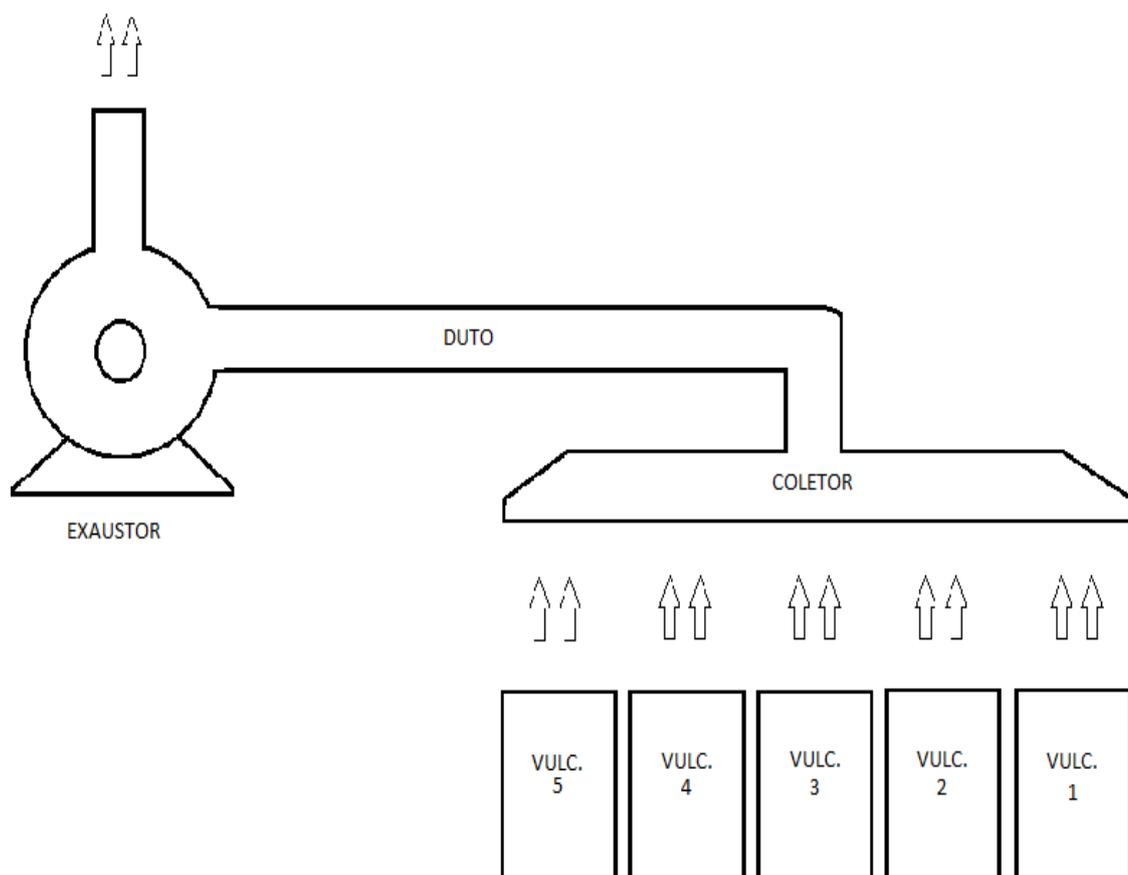


Figura 13 - Sistema de exaustão.
Fonte: Autoria Própria.

Quadro 2 - Dados de placa do motor

| DADOS DE PLACA | |
|--------------------|-----------|
| Potencia nominal | 25 cv |
| Tensão nominal | 380/440 V |
| Corrente nominal | 44/25 A |
| Nº de pólos | 4 |
| Frequência nominal | 60Hz |
| Fator de Potencia | 0,75 |

Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Operação do Sistema Exaustor

O sistema de exaustão opera ininterruptamente enquanto o processo de vulcanização ocorre. A linha de vulcanização produz durante 24 horas por dia, em um regime de escala 6x1. A produção é iniciada no domingo, as 22:00 horas, e encerrada as 22:00 do sábado, repetindo este ciclo semanalmente.

Sendo o sistema exaustor um acessório ao processo de vulcanização, o operador da linha de vulcanização do primeiro turno, no domingo, aciona o exaustor, que permanece em funcionamento até as 22:00 horas do sábado, quando o operador da linha de vulcanização do terceiro turno irá desligá-lo.

O processo de vulcanização é realizado em ciclos de 20 minutos, onde as autoclaves permanecem fechadas. É apenas no intervalo entre os ciclos, momento em que as autoclaves se abrem para a retirada do material vulcanizado e abastecimento de material que será vulcanizado no próximo ciclo, que ocorre a liberação de gases no ambiente. Este intervalo entre os ciclos dura aproximadamente 10 minutos. O ciclo de vulcanização é realizado em um período de tempo simultâneo entre as cinco autoclaves, ou seja, todas são abertas e fechadas no mesmo instante de tempo.

Nota-se que o sistema exaustor permanece em operação por um elevado número de horas sem necessidade. A figura 14 mostra o tempo realmente necessário de operação do sistema, sendo retratado nesta figura os dados coletados em um período de 2 horas de operação, sendo que os intervalos entre os ciclos se repetem durante todo o tempo de operação do sistema.



Figura 14 - Linhas do tempo: Exaustor x Autoclaves.

Fonte: Aatoria Própria.

4.1.2 Custo operacional do sistema exaustor.

Para mensurar o custo operacional deste sistema exaustor foram consideradas as seguintes informações:

- Consumo de energia elétrica do exaustor em uma hora, expresso em quilowatt-hora.

- Preço do quilowatt-hora aplicado pela concessionária de energia elétrica.

- Tempo de operação do sistema durante um mês.

Para o cálculo do consumo do motor em quilowatt-hora utilizou-se a fórmula (1).

$$\text{Consumo} = P_n \times (\% \text{Carregamento} / \text{Rendimento}) \times T \quad (1)$$

Onde: P_n = Potencia nominal em Kw (quilowatt).

T = Tempo de operação em horas.

Deste modo temos:

$$\text{Consumo} = 18,4 \times (90 / 85) \times 1$$

$$\text{Consumo} = 19,5 \text{ KWh}$$

O valor do quilowatt/hora obteve-se através de consulta a tabela tarifária vigente divulgada no site da concessionária de energia elétrica conforme demonstra a figura 15.

| Horossazonal AZUL | Resolução ANEEL Nº 1.897, | |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| A4 (2,3 a 25 kV) | de 16 de junho de 2015 | |
| □ | □ | □ |
| Tarifas | Resolução | com Impostos: |
| | ANEEL | ICMS e PIS/COFINS |
| Demanda (R\$/kW) | | |
| Ponta | 21,91 | 34,34 |
| Fora de Ponta | 6,90 | 10,81 |
| Ultrapassagem Ponta | 43,82 | 68,68 |
| Ultrapassagem Fora de Ponta | 13,80 | 21,63 |
| □ | □ | □ |
| Consumo (R\$/kWh) | | |
| Ponta | 0,51424 | 0,80601 |
| Fora de Ponta | 0,34453 | 0,54001 |
| □ | □ | □ |
| Vigência em 24/06/2015 | □ | □ |

Figura 15 - Quadro de valor tarifário da Copel.

Fonte: Copel.com.br, 2015.

O tempo de operação do sistema no período de um mês obteve-se através de um cálculo matemático simples: horas de funcionamento p/ dia x 26 dias p/ mês. Desse modo temos o tempo de operação igual a 624 horas.

A Companhia Paranaense de Energia – COPEL, aplica valores diferentes de tarifa para o consumo em horário de ponta e fora de ponta, sendo considerado horário de ponta um período consecutivo de 3 horas em que o consumo de energia tende a ser maior. A COPEL define que este período tarifário especial é aplicado de segunda-feira a sexta-feira, extinguindo-se deste faturamento especial os sábados, domingos e feriados nacionais.

Desta forma, para calcular o custo operacional do sistema exaustor, o tempo de funcionamento mensal do equipamento de 624 horas foi fracionado em horário de ponta e fora de ponta. Como o horário de ponta abrange um período de 3 horas diárias e 22 dias por mês, concluiu-se que do total de 624 horas mensais de funcionamento do sistema, 66 horas são em horário de ponta e 558 em horário fora de ponta.

Com estas informações, obteve-se o valor em moeda nacional, do custo de operação do sistema de exaustão no período de 30 dias. Este valor foi calculado com a fórmula (2). Neste cálculo não foi considerado o valor referente a demanda contratada, visto que este sistema exerce pouca influência na demanda total da

fábrica e as alterações propostas pelo projeto de melhoria não justificam a redução da demanda contratada. O valor do quilowatt/hora adotado para este cálculo foi com o valor total de impostos, sem considerar possíveis descontos por incentivo fiscal.

$$\text{Custo} = (C \times T_p \times V_p) + (C \times T_f \times V_f) \quad (2)$$

Onde:

C = Consumo (KWh).

T_p = Tempo de operação em horário de ponta.

T_f = Tempo de operação em horário fora de ponta.

V_p = Valor do KWh em horário de ponta.

V_f = Valor do KWh em horário fora de ponta.

A figura 16 mostra a planilha em *Microsoft Excel* em que esta fórmula foi aplicada e os resultados obtidos.

| Custo Operacional do Sistema Atual | |
|--|----------------------|
| Tempo de operação em Horário de Ponta | 66 |
| Tempo de operação em Horário Fora de Ponta | 558 |
| Valor do KWh - Ponta | R\$ 0,80 |
| Valor do KWh - Fora de ponta | R\$ 0,54 |
| Consumo do Motor (KWh) | 19,5 |
| CUSTO DE OPERAÇÃO (MENSAL) | R\$ 6.905,34 |
| CUSTO DE OPERAÇÃO (ANUAL) | R\$ 82.864,08 |

Figura 16 - Planilha de cálculo do custo operacional.
Fonte: Autoria Própria.

4.2 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA EXAUSTOR

A proposta de automação do sistema de exaustão desenvolveu-se em 4 etapas :

- Análise do funcionamento atual do sistema, conforme apresentado na seção

4.1.2.

- Desenvolvimento e estruturação de um programa para controle automático do acionamento do exaustor, escrito em linguagem *grafcet*, para posteriormente ser reescrito em linguagem *ladder* como um *upgrade* do programa atual do PLC Siemens S7-300 modelo 315f, instalado na linha de vulcanização, e que possui entradas e saídas digitais disponíveis em número suficiente para esta aplicação.

- Dimensionamento de uma chave *soft-starter* para acionamento do motor do exaustor.

- Parametrização da *soft-starter* para o tipo apropriado de acionamento do motor conforme a aplicação.

4.2.1 Lógica de Acionamento

Analisando as necessidades do processo de vulcanização, definiu-se que a automação do sistema de exaustão deve obedecer aos seguintes critérios:

- O exaustor deve estar funcionando com suas características nominais no instante da abertura automática da primeira autoclave, ao final do ciclo de vulcanização;

- O sistema deve alertar ao operador a ocorrência de falhas;

- O exaustor deve desligar automaticamente após o fechamento de todas as autoclaves;

- O exaustor deve partir e parar independentemente da condição das autoclaves quando selecionado o modo de comando manual;

Em seguida, foram definidos os sinais de entradas e saídas necessários para o desenvolvimento do programa lógico de controle do exaustor, conforme apresentado no quadro 3.

Quadro 3 - Descrição das entradas e saídas.

| Entradas | | | |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------|---|
| Endereço | Descrição | Estado binário | Origem |
| I 1 | Seleção Auto/Manual | 1= auto 0= manual | Chave seletora no painel de acionamento |
| I 2 | Sinal liga em modo automático | 1=liga 0=desliga | Sinal do PLC da linha de vulcanização. |
| I 3 | Comando Liga/Desliga em modo manual | 1=em falha 0=sem falha | Chave no painel de acionamento |
| I 4 | Sinal de Motor/Drive em falha | 1=liga 0=desliga | Sinal da <i>soft-strater</i> |
| Saídas | | | |
| O 1 | Motor/Driver em falha | 1=em falha 0=sem falha | Sinalizador no painel de comando |
| O 2 | Exaustor ligado/desligado | 1=ligado 0=desligado | Sinalizador no painel de comando |

Fonte: Autoria Própria.

Após a definição dos sinais de entradas e saídas necessários para a operação automática do sistema, foi desenvolvido um programa lógico em linguagem *grafcet*, conforme apresentado na figura 17.

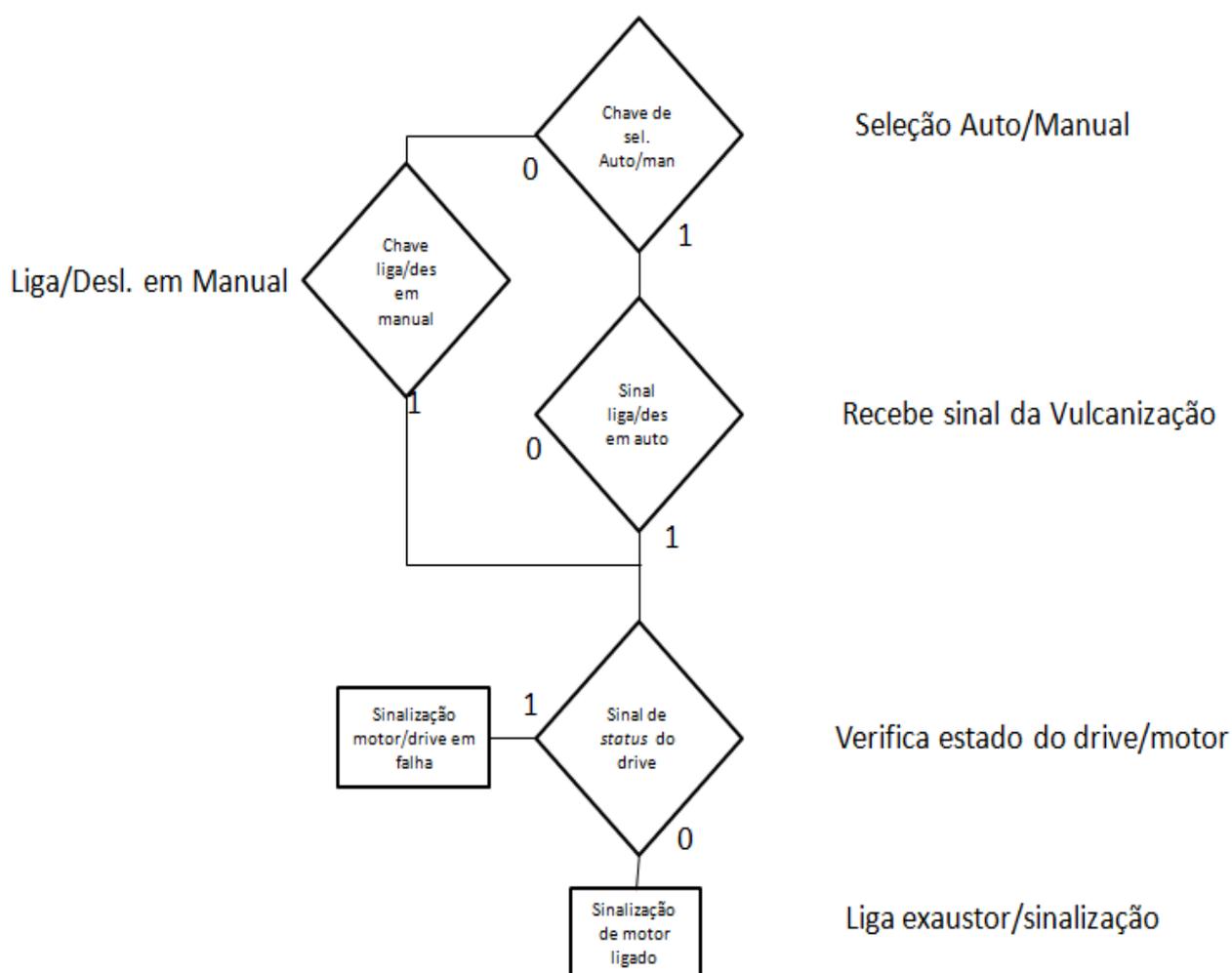


Figura 17 - Fluxograma lógica de acionamento do exaustor.
Fonte: Autoria Própria.

Esta lógica de controle deverá ser reescrita em forma de um bloco de programa para upgrade do software do PLC Siemens S7 300 modelo 315 F, instalado na linha de vulcanização, o qual dispõe de entradas e saídas digitais disponíveis em número suficiente para esta aplicação.

4.2.2 Dimensionamento da *Soft-starter*

Os dados do motor obtidos durante o levantamento de dados do motor foram inseridos no software SDW, conforme mostram as figura 18, 19 e 20. Em seguida foram configurados os dados referentes à aplicação, conforme a figura 21.

Software de Dimensionamento WEG®
[Soft-Starter] SDW 4.0

Dados do Motor

Tipo de Motor/Linha

Norma IEC

Número de pólos

Categoria

Frequência Nominal 60 Hz

Tensão nominal V

Potência nominal cv



Figura 18 - Interface SDW 4.0 – Dados do motor.
Fonte: Autoria Própria.

Software de Dimensionamento WEG®
[Soft-Starter] SDW 4.0

Dados do Motor

Fator de potência pu

Rendimento %

Corrente nominal A

Fator de serviço

Tempo de rotor bloqueado s

Momento de Inércia (J) kg.m²



Figura 19 - Interface SDW 4.0 – Dados do motor (página 2).
Fonte: Autoria Própria.

Dados do Motor

Conjugado nominal (Cn) 10.27 kgf.m

Conjugado com rotor bloqueado (Cp/Cn) pu

Conjugado Máximo (Cmáx/Cn) pu

Corrente com Rotor Bloqueado (Ip/In) pu

| n(%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| C/Cn | 2.3 | 2.11 | 1.99 | 1.96 | 1.97 | 2.03 | 2.12 | 2.25 | 2.4 | 1.81 | 1 |
| I/In | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.29 | 6.16 | 5.91 | 5.3 | 4.17 | 2.35 | 1 |

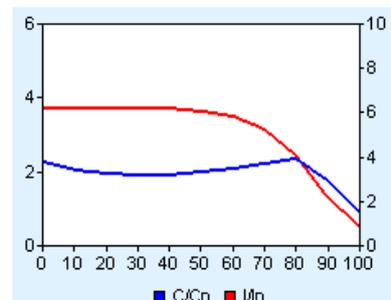


Figura 20 - Interface SDW 4.0 – Dados do motor (página 3).
Fonte: Autoria Própria.

Dados da Aplicação

Tipo de carga

Referência da aplicação

Inércia da carga ref. ao eixo do motor (Jc)

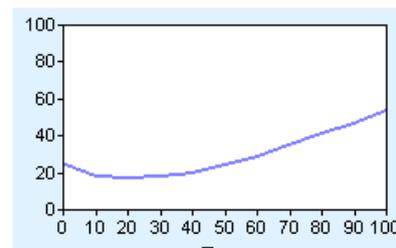
Número de Partidas por Hora

Intervalo entre partidas

Fator de utilização % ED %

| n(%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| t(%) | 25 | 19 | 18 | 19 | 21 | 25 | 30 | 36 | 42 | 48 | 55 |

Os valores desta tabela são percentuais do conjugado nominal do motor.



MENSAGEM

Estamos considerando a curva de conjugado por rotação do Ventilador centrífugo operando com carga durante a partida.

Figura 21 - Interface SDW 4.0 – Dados da aplicação.
Fonte: Autoria Própria.

Com os dados do motor e da aplicação, a ferramenta SDW 4.0 forneceu as curvas características de corrente, tensão e conjugado de partida e informações de tempo de partida necessário para o acionamento e o modelo de chave *soft-starter* adequado para a aplicação.

O *software* forneceu estes dados para uma partida com rampa de tensão, conforme a figura 22 e para uma partida por limitação de corrente, conforme demonstra a figura 23.

Gráficos - Partida com rampa de tensão

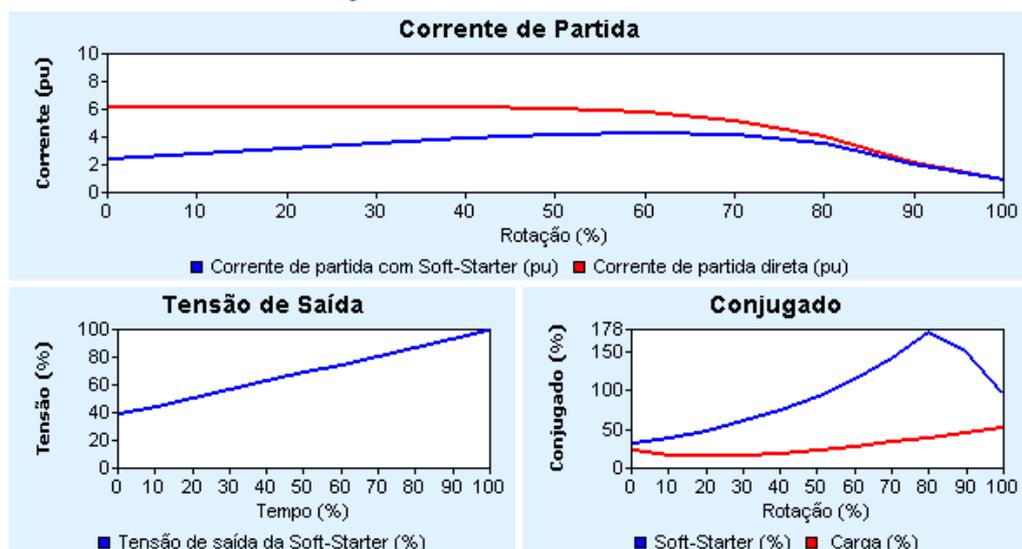


Figura 22 - Gráficos de partida com rampa de tensão.
Fonte: Autoria Própria.

Gráficos - Partida com limitação de corrente

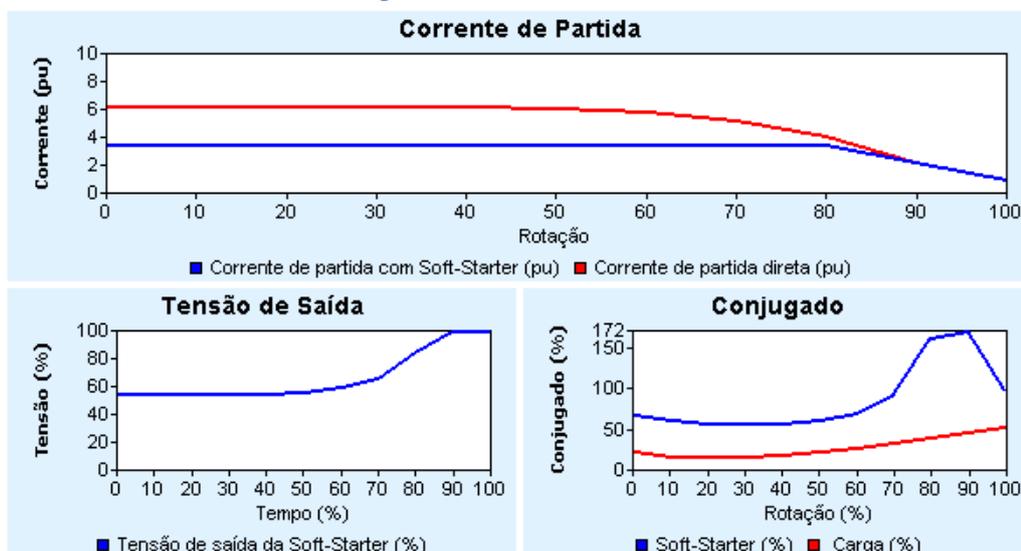


Figura 23 - Gráficos de partida com limitação de corrente.
Fonte: Autoria Própria.

Uma análise dos gráficos apresentados pelo SDW 4.0 mostrou vantagem em se optar por uma partida por rampa de tensão, a qual expõe o circuito elétrico de alimentação a um menor valor de corrente de partida, conforme se observa no relatório gerado pelo *software* de dimensionamento e apresentado na figura 24, sendo este tipo de partida o mais adequado para esta aplicação, diminuindo o impacto da queda tensão sobre as instalações.

Resultado

PARTIDA COM RAMPA DE TENSÃO

Modelo: SSW06 0045 T 2257 _ S Z
SSW07 0045 T 5 S Z

Resposta do Motor

- Pedestal de Tensão: 40 %
- Tempo de Aceleração: 20,31 s
- Corrente eficaz de partida: 141,82 A

[Redimensionar](#)[Gráficos](#)

PARTIDA COM LIMITAÇÃO DE CORRENTE

Modelo: SSW06 0045 T 2257 _ S Z
SSW07 0045 T 5 S Z

Resposta do Motor

- Limitação de Corrente: 354 %
- Tempo de Aceleração: 15,85 s
- Corrente eficaz de partida: 154,35 A

[Redimensionar](#)[Gráficos](#)

Figura 24 - relatório SDW 4.0.

Fonte: Autoria Própria.

O modelo de chave eletrônica de partida *soft-starter* adequada para esta aplicação é a SSW06 0045 T 2257_S Z, da fabricante WEG. A figura 25 mostra esta *soft-starter*.



Figura 25 - Chave de partida SSW 06.

Fonte: WEG.

A chave *soft-starter* dimensionada para esta aplicação garante a proteção do motor, porém para a proteção da chave devem ser instalados fusíveis do tipo ultra-rápido conforme especificados no manual do fabricante, conforme mostra a tabela na figura 26.

| Modelo | Fusíveis WEG com certificação CE | | | | Fusíveis com certificação UL e CE Flush End ou Bolted Connections | | Pt do SCR (kA ² s) |
|-------------|----------------------------------|-----------------|---|-----------------|---|---|-------------------------------|
| | Ligação Padrão In (A) | Código Material | Dentro da Ligação do Delta Motor In (A) | Código Material | Ligação Padrão In (A) | Dentro da Ligação do Delta Motor In (A) | |
| SSW-06.0010 | 40 | 10702117 | - | - | 50 | - | 0,72 |
| SSW-06.0016 | 40 | 10702117 | - | - | 50 | - | 0,72 |
| SSW-06.0023 | 80 | 10705995 | - | - | 80 | - | 4 |
| SSW-06.0030 | 125 | 10707231 | - | - | 80 | - | 4 |
| SSW-06.0045 | 125 | 10707231 | 200 | 10809133 | 125 | 125 | 10 |
| SSW-06.0060 | 160 | 10701724 | 200 | 10809133 | 125 | 160 | 15 |

Figura 26 - Especificação de fusíveis para SSW06.
Fonte: Manual SSW06 WEG.

A figura 27 apresenta o diagrama de ligação para o acionamento do exaustor.

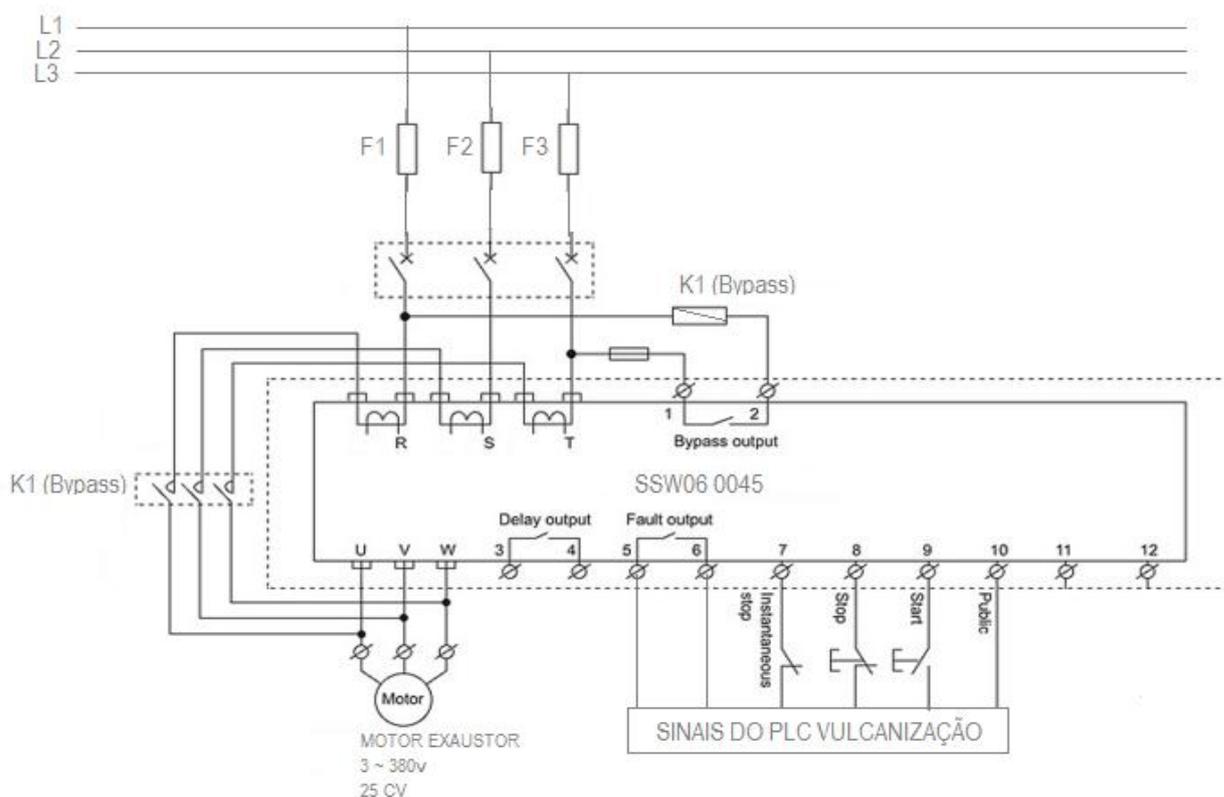


Figura 27: Diagrama elétrico
Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Parametrização da *Soft-starter*

Para esta aplicação optou-se por utilizar o *software* Super Drive G2 para a parametrização da chave de partida. O primeiro passo foi criar um novo projeto e selecionar o drive modelo SSW 06, como mostra a figura 28, após isso foi aberto um novo arquivo de parâmetros, o qual inicialmente contém os parâmetros de fábrica do *drive*, onde foram inseridos os dados de placa do motor e os dados da aplicação obtidos através da análise dos resultados apresentados pela ferramenta de dimensionamento SDW 4.0. Após salvar as alterações do arquivo, o projeto do Super Drive G2 está pronto para ser descarregado na *soft-starter*. O *software* de parametrização gera um relatório com a lista dos parâmetros alterados conforme mostra a figura 29. A lista completa dos parâmetros da chave eletrônica para esta aplicação é apresentada no Anexo B.

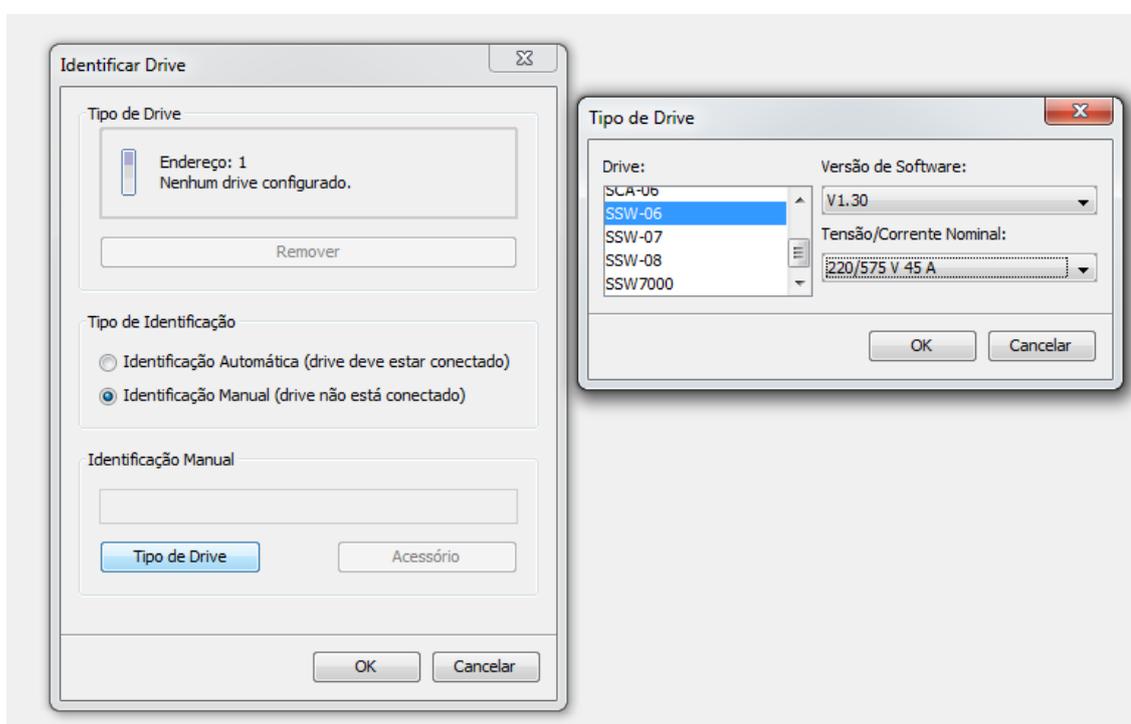


Figura 28 - Configuração do modelo do *drive*.
Fonte: Autoria Própria.

Configurações dos Parâmetros

Nome do Projeto: Exaustão_vulcanizadoras

Arquivo de Conteúdo dos Parâmetros: C:\WEG\SuperDrive G2 11.3.0
 \Projects\Exaustão_vulcanizadoras\Motor_exaustor_vulc.par

Tipo de Drive: SSW-06 V1.30 220/575 V 45 A

| Parâmetro | Ajuste do Usuário | Parâmetro | Ajuste do Usuário |
|------------------------|--------------------------|-----------|-------------------|
| P0000 Acesso Parâmetro | 5 (Alterado) | | |
| P0101 Tensão Inicial | 40 % (Alterado) | | |
| P0102 Tempo Aceleração | 21 s (Alterado) | | |
| P0120 TipoTorq.Partida | 3: Quadrática (Alterado) | | |
| P0401 Cor. Nom. Motor | 44 A (Alterado) | | |
| P0404 Pot. Nom. Motor | 18,4 kW (Alterado) | | |
| P0405 Fator d.Potência | 0,75 (Alterado) | | |

Figura 29 - Relatório de parâmetros alterados.
 Fonte: Autoria Própria.

4.3 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

Para definir o valor do investimento necessário para a implantação da solução apresentada para a automação do sistema exaustor, elaborou-se uma lista dos componentes e materiais necessários para a alteração do sistema elétrico de acionamento existente, e um escopo das atividades de mão de obra técnica das especialidades de eletrotécnica e automação industrial necessárias para a implantação das melhorias propostas. Com estes itens definiu-se um orçamento dos valores de cada item e com o valor total necessário para a implementação do projeto, conforme apresentado na figura 30.

| DESCRIÇÃO | QTD | UNID. | PREÇO UNIT. | TOTAL |
|----------------------------------|-----|-------|--------------|---------------------|
| Soft starter ssw06-0045 WEG | 1 | pç | R\$ 3.060,00 | R\$ 3.060,00 |
| Fusível NH Ultra rápido 200A | 3 | pç | R\$ 75,50 | R\$ 226,50 |
| Chave Seccionadora saca fusíveis | 1 | pç | R\$ 244,00 | R\$ 244,00 |
| Material elétrico geral. | 1 | unid. | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 |
| | | | | R\$ - |
| Mão de Obra eletricista FC | 25 | H/H | R\$ 42,00 | R\$ 1.050,00 |
| Mão de Obra automação | 16 | H/H | R\$ 150,00 | R\$ 2.400,00 |
| | | | TOTAL | R\$ 7.980,50 |

Figura 30 - Orçamento dos materiais/ mão de obra.
 Fonte: Autoria própria.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Por se tratar de um projeto com o objetivo de que o retorno do investimento ocorra em curto prazo, o cálculo do VPL tomou como base os valores de fluxo de caixa em um período mensal, apresentando o VPL resultante mês a mês, e também o resultado em um período final de um ano, conforme apresentado na figura 32.

O primeiro valor adotado para a análise de viabilidade do projeto foi o valor do investimento necessário, sendo este valor estimado em R\$ 7.980,50.

O valor da taxa de desconto aplicado ao cálculo do VPL foi convencionado em 2% ao mês, por ser este o número inteiro imediatamente superior a taxa básica de juros atual.

Os valores dos fluxos de caixa mensais utilizados foram o resultado da diferença entre o valor do custo operacional do sistema atual e o custo operacional previsto para o sistema automatizado, conforme apresentado na figura 31, sendo este valor R\$ 4.603,56.

| Custo Operacional do Sistema Atual | |
|--|----------------------|
| Tempo de operação em Horário de Ponta | 66 |
| Tempo de operação em Horário Fora de Ponta | 558 |
| Valor do KWh - Ponta | R\$ 0,80 |
| Valor do KWh - Fora de ponta Ponta | R\$ 0,54 |
| Consumo do Motor (KWh) | 19,5 |
| CUSTO DE OPERAÇÃO (MENSAL) | R\$ 6.905,34 |
| CUSTO DE OPERAÇÃO (ANUAL) | R\$ 82.864,08 |
| | |
| | |
| Custo Operacional do Sistema Automatizado | |
| Tempo de operação em Horário de Ponta | 22 |
| Tempo de operação em Horário Fora de Ponta | 186 |
| Valor do KWh - Ponta | R\$ 0,80 |
| Valor do KWh - Fora de ponta Ponta | R\$ 0,54 |
| Consumo do Motor (KWh) | 19,5 |
| CUSTO DE OPERAÇÃO (MENSAL) | R\$ 2.301,78 |
| CUSTO DE OPERAÇÃO (ANUAL) | R\$ 27.621,36 |

Figura 31 - Custo atual x Custo proposto.
Fonte: Aatoria Própria.

Com os valores de investimento, taxa de desconto e fluxo de caixa definidos, o VPL do projeto foi calculado com o uso da função *npv* do *Microsoft Excel*, apresentando os resultados mostrados na figura 32 e no gráfico 4.

| ANÁLISE DE VIABILIDADE DE PROJETO | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|-------------|---------------|--------------|---------------|
| PROJETO: | Automação do sistema exaustor da linha de vulcanização | | | | | |
| INVESTIMENTO | R\$ 7.980,50 | | TX DESCONTO | 2% | VPL (mês 1) | -R\$ 3.458,34 |
| FC 1 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 2) | R\$ 983,86 |
| FC 2 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 3) | R\$ 5.347,52 |
| FC 3 | R\$ 4.603,56 | | VPL | R\$ 41.307,11 | VPL (mês 4) | R\$ 9.634,02 |
| FC 4 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 5) | R\$ 13.844,72 |
| FC 5 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 6) | R\$ 17.980,98 |
| FC 6 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 7) | R\$ 22.044,09 |
| FC 7 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 8) | R\$ 26.035,37 |
| FC 8 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 9) | R\$ 29.956,07 |
| FC 9 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 10) | R\$ 33.807,45 |
| FC 10 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 11) | R\$ 37.590,72 |
| FC 11 | R\$ 4.603,56 | | | | VPL (mês 12) | R\$ 41.307,11 |
| FC 12 | R\$ 4.603,56 | | | | | |

Figura 32 - VPL do projeto.
Fonte: Autoria Própria.

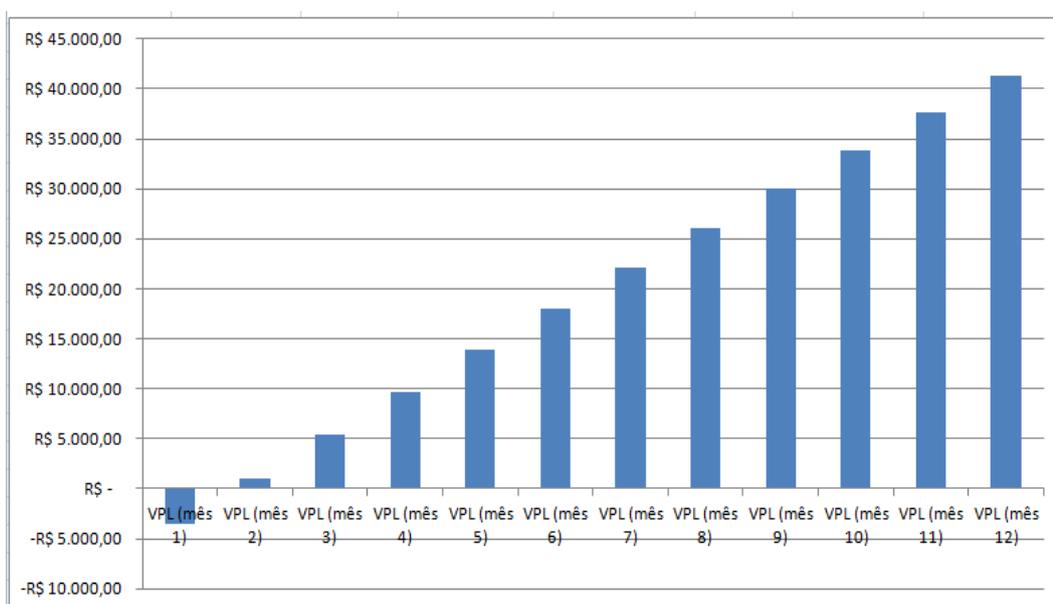


Gráfico 4 – Evolução do VPL.
Fonte: Autoria Própria.

Estes dados evidenciaram que o projeto proposto trata-se de uma solução economicamente viável, visto o VPL assumir um valor positivo no segundo mês após a execução do projeto. Considerando o período de um ano, notou-se que o projeto resultará em uma redução de custo de R\$ 41.307,11, tornando-se altamente atrativo aos investidores.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso abordou um problema apresentado em um processo industrial com baixa eficiência energética, com o objetivo de apresentar uma solução tecnológica para aumentar a eficiência deste sistema.

Uma análise do sistema evidenciou que a baixa eficiência deve-se ao desperdício de energia elétrica resultante das horas de trabalho ocioso deste sistema de exaustão.

Para otimizar o uso deste sistema desenvolveu-se uma proposta de projeto para tornar este sistema automático, desta forma operando apenas nos momentos necessários. Este projeto foi desenvolvido embasado em técnicas de automação em controle discreto e de acionamentos de máquinas elétricas.

A elaboração do projeto de automação foi precedida por uma análise para descobrir o custo operacional do sistema atual, o qual foi fundamental para avaliar se o projeto proposto é financeiramente viável. Com a aplicação da ferramenta econômica VPL ficou evidente a viabilidade deste projeto, o qual se executado, resultará em uma significativa redução de custo.

Considerando o aspecto técnico, o projeto mostrou-se também como uma solução viável, visto que a automação proposta para o sistema exaustor reduz o tempo de operação do sistema a um terço do tempo de operação do sistema atual, sem prejudicar a sua funcionalidade, desta forma erradicando o desperdício apresentado e assim tornando o sistema eficiente.

Conclui-se desta forma, que o trabalho desenvolvido atingiu seus objetivos previamente definidos. Porém, restam como ações futuras a execução da solução apresentada, e ainda a possibilidade de ganhos maiores em eficiência energética analisando a possibilidade de substituição do motor elétrico do exaustor por um motor de alto rendimento, ou ainda o redimensionamento dos componentes do sistema de exaustão, o que talvez resulte na possibilidade de utilizar um motor de menor potência.

Este trabalho torna ainda evidente que a automação industrial deve ser encarada como um investimento capaz de trazer resultados satisfatórios em redução de custos, aumento de produtividade e conservação de energias, tornando-se indispensável à indústria moderna.

REFERÊNCIAS

BARROS, Benjamin Ferreira de. **Gerenciamento de energia** Ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica. São Paulo: Érica, 2013.

BERNSTEIN, P; DAMODARAN, A. **Administração de Investimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

BRUNI, A. L; RUBENS, F. **As Decisões de Investimentos** Com aplicações na HP12C e Excel. São Paulo: Atlas, 2003.

CAPELLI, Alexandre. **Energia Elétrica: Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais**. São Paulo: Érica, 2013.

CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. **Ventilação industrial**. Florianópolis: UFSC, 1999.

FRANCHI, Cleiton Moro. **Acionamentos elétricos**. São Paulo: Érica, 2008.

FRANCHI, Cleiton Moro. **Controladores Lógicos Programáveis** Sistemas Discretos . São Paulo: Érica, 2009.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. São Paulo: Harbra, 2002.

GUERRA, F. **Matemática Financeira através da HP12C**. Florianópolis: UFSC, 2006.

Guia práctica de la ventilación. Woods of Colchester Ltda. Barcelona: Blume, 1970.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Equipamentos industriais e de processo**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MAMED FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

NOVAES, Barbara D. **Chaves de Partida *soft-starter***. Disponível em: < http://200.195.174.230/Materiais/818_482.pdf >. Acesso em: 21 jun. 2015.

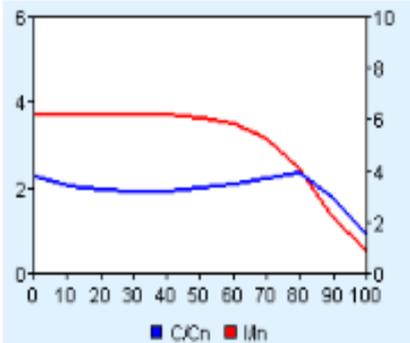
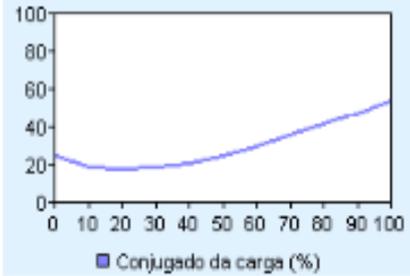
PANESI, A. R. Q. **Fundamentos de Eficiência Energética: industrial, comercial e residencial**. São Paulo, SP: Ensino Profissional, 2006.

Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME: EPE, 2007.

PRUDENTE, Francesco. **Automação Industrial PLC: Teorias e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

Ventiladores e Exaustores: guia básico. Eletrobrás. Brasília: IEL: NC, 2008.

ANEXO A – Relatório de dimensionamento SDW 4.0

|  | | SDW 4.0 - Soft-Starter | WAU 27/09/2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----|--|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|---|--|--|
| Partida com rampa de tensão: Modelo: SSW07 0045 T 5 S Z SSW06 0045 T 2257 _ S Z Pedestal de Tensão: 40 % Tensão de Comando: 220 V Tempo de Aceleração: 20.31 s Corrente eficaz de partida: 141.82 A | Partida com limitação de corrente: Modelo: SSW07 0045 T 5 S Z SSW06 0045 T 2257 _ S Z Limitação de Corrente: 354 % Tensão de Comando: 220 V Tempo de Aceleração: 15.85 s Corrente eficaz de partida: 154.35 A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESUMO DOS DADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dados do Motor: Tipo de Motor/Linha: 37#60 Potência: 25 cv Tensão: 380 V Frequência: 60 Hz Número de pólos: 4 Fator de serviço: 1 Corrente nominal: 44.09 A Tempo de rotor bloqueado: 15 s Inércia (J): 0.11542 kg.m ² Cp/Cn: 2.3 pu Cmax/Cn: 2.4 pu Ip/In: 6.3 pu | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>n(%)</th> <th>0</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> <th>80</th> <th>90</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C/Cn</td> <td>2.3</td> <td>2.11</td> <td>1.99</td> <td>1.96</td> <td>1.97</td> <td>2.03</td> <td>2.12</td> <td>2.25</td> <td>2.4</td> <td>1.81</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>I/In</td> <td>6.3</td> <td>6.3</td> <td>6.3</td> <td>6.3</td> <td>6.29</td> <td>6.16</td> <td>5.91</td> <td>5.3</td> <td>4.17</td> <td>2.35</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | | n(%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | C/Cn | 2.3 | 2.11 | 1.99 | 1.96 | 1.97 | 2.03 | 2.12 | 2.25 | 2.4 | 1.81 | 1 | I/In | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.29 | 6.16 | 5.91 | 5.3 | 4.17 | 2.35 | 1 | | |
| n(%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C/Cn | 2.3 | 2.11 | 1.99 | 1.96 | 1.97 | 2.03 | 2.12 | 2.25 | 2.4 | 1.81 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I/In | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.29 | 6.16 | 5.91 | 5.3 | 4.17 | 2.35 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dados da Aplicação: Tipo de carga: Ventilador centrífugo Referência da aplicação: Conjugado na rotação zero: 25 % Conjugado nominal (Cn): 55 % Inércia referida ao eixo do motor: 35 vezes J Número de Partidas por Hora: 2 Intervalo entre partidas: 25 min Fator de utilização: 90 % | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>n(%)</th> <th>0</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> <th>80</th> <th>90</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C(%)</td> <td>25</td> <td>19</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>21</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>36</td> <td>42</td> <td>48</td> <td>55</td> </tr> </tbody> </table> | | n(%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | C(%) | 25 | 19 | 18 | 19 | 21 | 25 | 30 | 36 | 42 | 48 | 55 | Os valores desta tabela são percentuais do conjugado nominal do motor. | | | | | | | | | | | | | |
| n(%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C(%) | 25 | 19 | 18 | 19 | 21 | 25 | 30 | 36 | 42 | 48 | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dados Gerais: Altitude: 1000 m Temperatura: 25 ° C Tensão de rede trifásica: 380 V Tensão de comando: 220 V | | Ligação do motor: Standard Queda de tensão na partida: 2.5 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Observações Importantes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estamos considerando a curva de conjugado por rotação do Ventilador centrífugo operando com carga durante a partida. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO B – Lista de parâmetros SSW 06

Configurações dos Parâmetros

Nome do Projeto: Exaustão_vulcanizadoras

Arquivo de Conteúdo dos Parâmetros: C:\WEG\SuperDrive G2 11.3.0

\Projects\Exaustão_vulcanizadoras\Motor_exaustor_vulc.par

Tipo de Drive: SSW-06 V1.30 220/575 V 45 A

| Parâmetro | Ajuste do Usuário | Parâmetro | Ajuste do Usuário |
|------------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------|
| P0000 Acesso Parâmetro | 5 (Alterado) | P0123 Torq.Min.Partid. | 27 % |
| P0001 Corrente SSW | 0 % | P0124 Tempo T.Min.Part | 20 % |
| P0002 Corrente Motor | 0 % | P0125 Tipo Torq.Parada | 1: Constante |
| P0003 Corrente Motor | 0 A | P0126 Torq. Fin.Parada | 20 % |
| P0004 Tensão Aliment. | 0 V | P0127 Torq. Min.Parada | 50 % |
| P0005 Freq.Alimentação | 0 Hz | P0128 TempoT.Min.Para. | 50 % |
| P0006 Estado SSW | 0: ready | P0130 Controle Bombas | 0: Bomba 1 |
| P0007 Tensão na Saída | 0 V | P0140 Bypass Externo | 0: Inativa |
| P0008 Fator d.Potência | 0 | P0150 Conexão Delta | 0: Inativa |
| P0009 Torque do Motor | 0 % | P0200 A Senha está | 1: Ativa |
| P0010 Potência Saída | 0 kW | P0201 Idioma | 1: English |
| P0011 Potênc. Aparente | 0 kVA | P0202 Tipo de Controle | 0: Ramp.Tens. |
| P0012 Estado DI1...DI6 | 00000000b | P0204 Carr./Salva Par. | 0: Sem Função |
| P0013 Estado RL1...RL3 | 00000000b | P0205 Sel.Par.Leitura | 2: Cor.MotorA |
| P0014 Último Erro | 0 | P0206 Tempo Auto-Reset | 0 s |
| P0015 Segundo Erro | 0 | P0215 Função Copy | 0: Inativa |
| P0016 Terceiro Erro | 0 | P0218 Contraste LCD | 127 |
| P0017 Quarto Erro | 0 | P0220 Seleção LOC/REM | 2: TecladoLOC |
| P0023 Versão Software | 1,3 | P0229 Sel. Com. Local | 0: Teclas HMI |
| P0030 Corrente Fase R | 0 A | P0230 Sel. Com. Remota | 1: Dix |
| P0031 Corrente Fase S | 0 A | P0231 Sel.Sentido Giro | 0: Inativa |
| P0032 Corrente Fase T | 0 A | P0251 Função Saída AO1 | 0: Sem Função |
| P0033 Tensão Linha R-S | 0 V | P0252 Ganho Saída AO1 | 1 |
| P0034 Tensão Linha S-T | 0 V | P0253 Função Saída AO2 | 0: Sem Função |
| P0035 Tensão Linha T-R | 0 V | P0254 Ganho Saída AO2 | 1 |
| P0042 Horas Energizado | 0 h | P0255 Sinal SaídaAO2 | 0: 0 - 20 mA |
| P0043 Horas Habilitado | 0 h | P0264 Função Entr.DI2 | 2: Reset |
| P0050 Prote.Term.Motor | 0 % | P0265 Função Entr.DI3 | 0: Sem Função |
| P0085 Estado Fieldbus | 0: Inativo | P0266 Função Entr.DI4 | 0: Sem Função |
| P0101 Tensão Inicial | 40 % (Alterado) | P0267 Função Entr.DI5 | 0: Sem Função |
| P0102 Tempo Aceleração | 21 s (Alterado) | P0268 Função Entr.DI6 | 0: Sem Função |
| P0103 Degrau Desacel. | 100 % | P0277 Função Relé RL1 | 1: Funcionam. |
| P0104 Temp. Desacel. | 0 s | P0278 Função Relé RL2 | 2: Tens.Plena |
| P0105 Tensão Final | 30 % | P0279 Função Relé RL3 | 6: Sem Erro |
| P0110 Lim. de Corrente | 300 % | P0295 Corrente Nom.SSW | 4: 45 A |
| P0111 Corrente Inicial | 150 % | P0296 Tensão Nom. SSW | 0: 220/575 V |
| P0112 Tempo Rampa Cor. | 20 % | P0308 Endereço SSW | 1 |
| P0120 TipoTorq.Partida | 3: Quadrática (Alterado) | P0309 Fieldbus | 0: Inativa |
| P0121 Torq.Ini.Partid. | 30 % | P0312 Protocolo Serial | 1: MB 9600 S |
| P0122 Torq.Fin.Partid. | 110 % | P0313 AçãoErroComunic. | 0: Inativa |

Data: 22/10/15 00:48:05

SuperDrive G2 11.3.0

1

Nome do Projeto: Exaustão_vulcanizadoras

Arquivo de Conteúdo dos Parâmetros: C:\WEG\SuperDrive G2 11.3.0
 \Projects\Exaustão_vulcanizadoras\Motor_exaustor_vulc.par

Tipo de Drive: SSW-06 V1.30 220/575 V 45 A

| Parâmetro | Ajuste do Usuário | Parâmetro | Ajuste do Usuário |
|-------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|
| P0314 Watchdog Serial | 0 s | | |
| P0315 Leitura Fbus #1 | 0 | | |
| P0316 Leitura Fbus #2 | 0 | | |
| P0317 Leitura Fbus #3 | 0 | | |
| P0400 Tensão Nom.Motor | 380 V | | |
| P0401 Cor. Nom. Motor | 44 A (Alterado) | | |
| P0402 Rotaç. Nom.Motor | 1780 rpm | | |
| P0404 Pot. Nom. Motor | 18,4 kW (Alterado) | | |
| P0405 Fator d.Potência | 0,75 (Alterado) | | |
| P0406 Fator de Serviço | 1 | | |
| P0500 Método Frenagem | 0: Inativo | | |
| P0501 Tempo Frenagem | 10 s | | |
| P0502 Nível Frenagem | 30 % | | |
| P0503 Final Frenagem | 0: Inativa | | |
| P0510 JOG | 0: Inativo | | |
| P0511 Nível de Jog | 30 % | | |
| P0520 Pulso na Partida | 0: Inativa | | |
| P0521 Tempo do Pulso | 0,1 s | | |
| P0522 Tensão do Pulso | 70 % | | |
| P0523 Corrente do Pulso | 500 % | | |
| P0600 Subtensão | 20 % | | |
| P0601 Tempo Subtensão | 1 s | | |
| P0602 Sobre Tensão | 15 % | | |
| P0603 Tempo Sobre Tens | 1 s | | |
| P0604 Desbal. Tensão | 15 % | | |
| P0605 Tempo Desb.Tens. | 1 s | | |
| P0610 Subcorrente | 20 % | | |
| P0611 Tempo Subcorrent | 0 s | | |
| P0612 Sobre Corrente | 20 % | | |
| P0613 Tempo Sobre Corr | 0 s | | |
| P0614 Desbal. Corrente | 15 % | | |
| P0615 Tempo Desb.Corr. | 1 s | | |
| P0616 Subcorr. Bypass | 1: Ativa | | |
| P0617 Sobrecorr.Bypass | 1: Ativa | | |
| P0620 Sequência Fase | 0: Inativa | | |
| P0630 Int. Após Parada | 2 s | | |
| P0640 Classe Prot.Ter. | 6: Classe 30 | | |
| P0641 Reset Prot.Ter. | 0 s | | |