

THIAGO GONÇALVES FERREIRA

NACIONALIZAÇÃO DO PAINEL MOTORPACT - PAINEL DE PARTIDA DE MOTORES DE MÉDIA TENSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em
Sistemas de Energia e Automação

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Roberto Martins da Costa

São Carlos
2008

“Podemos escolher o que semear,
mas somos obrigados a colher aquilo que plantamos.”
(Provérbio Chinês)

“Se não puder se destacar pelo talento vença pelo esforço.”
(Dave Weinbaum)

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Aos meus pais Ademir e Ivone, minha irmã Fabiana, aos meus avós e familiares, que durante toda a vida me apoiaram e me ensinaram a valorizar o trabalho e os estudos, sendo os grandes responsáveis pela minha formação pessoal e profissional;

Ao meu orientador, professor Dr. Geraldo Roberto Martins da Costa, que demonstrou grande interesse e dedicou o apoio necessário ao desenvolvimento deste trabalho no âmbito acadêmico, sendo paciente e sempre disponível;

Ao meu gestor de estágio na Schneider Electric, engenheiro Osmir Masaaki Amano, que sem dúvida se tornou um grande amigo, e tem grande responsabilidade pelo desenvolvimento da minha recente formação técnica;

Aos meus amigos da república Chapahall com os quais convivi 5 anos durante minha graduação e me ajudaram a valorizar o valor de uma amizade;

Aos meus amigos do curso Engenharia Elétrica ênfase em Sistemas de Energia e Automação e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Obrigado.

SUMÁRIO

Conteúdo

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. APRESENTAÇÃO GERAL	3
2.1 O Painel MOTORPACT	3
2.2 O Cubículo e sua Composição	3
2.2.1 Chave seccionadora	4
2.2.2 Compartimento de barramentos	5
2.2.3 Compartimento de carga.....	6
2.2.4 Compartimento de baixa tensão	11
2.2.5 Painel de operação	12
2.3 Tipos de Painéis e Características.....	13
2.3.1 Partida de Motor Assíncrono não Reversível com Tensão Plena – FVNR	13
2.3.2 Partida de Motor Assíncrono com Autotransformador - RVAT	16
2.3.3 Partida de Motor Assíncrono - Soft Starter – RVSS	18
2.4 Vantagens do Motorpact.....	20
3. MOTORES ASSINCRONOS.....	23
3.1 Constituição do motor de indução.....	23
3.2 Vantagens dos Motores Assíncronos	25
3.3 Funcionamentos de um Motor Assíncrono	25
3.4 Motores de Indução Monofásicos	26
3.5 Motores Trifásicos.....	27
3.5.1 Motor de Indução com Rotor Gaiola de Esquilo.....	27
3.5.2 Motor com Rotor Bobinado.....	29
4. CHAVES DE PARTIDA	30
4.1 Partidas Diretas	31

4.2 Partida Estrela-Triângulo	32
4.3 Autotransformadores de Partida.....	33
4.4 Soft-Starters	35
5. A NACIONALIZAÇÃO DO PAINEL MOTORPACT	37
5.1 Etapas de Processo para Novos Produtos	37
5.2 A abertura (Open)	38
5.3 Fase de Seleção (Select) – Pré-implementação (Do).	38
5.4 Pré-Implementação (Do) – Implementação (Implement)	38
5.5 Produção (Produce) - (Vendas) Sell	41
5.6 Vendas (Sell)	41
5.7 Vendas (Sell)-Fechamento (Close).....	41
6 CONCLUSÕES	42
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	43
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	44
ANEXO A	45
ANEXO-B	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição do Painel Motorpack	5
Figura 2. Localização da Seccionadora	6
Figura 3. Chave Seccionadora	6
Figura 4. Localização dos Barramentos	7
Figura 5. Acesso aos Barramentos	8
Figura 6. Vista do compartimento de Carga	9
Figura 7. Localização do Contator a vácuo	9
Figura 8. Contator a Vácuo	10
Figura 9. Localização dos Fusíveis	11
Figura 10. Localização dos sensores de correntes, TPs	12
Figura 11. Localização do compartimento BT	13
Figura 12. Painel de operação	14
Figura 13. Painel FVNR	15
Figura 14. Simbologia do Painel FVNR	17
Figura 15. Painel RVAT	18
Figura 16. Simbologia do Painel RVAT	19
Figura 17. Painel RVSS	20
Figura 18. Simbologia do Painel RVSS	21
Figura 19. Dimensões do Painel	22
Figura 20. Partes de um Motor de Indução Gaiola de Esquilo	26
Figura 21. Motor monofásico	28
Figura 22. Rotor gaiola de esquilo	29
Figura 23. "Projeção" do motor assíncrono de rotor em gaiola de esquilo.	30
Figura 24. Motor com Rotor Bobinado	31
Figura 25. Relação entre Corrente de Partida e Velocidade Angular do Motor ..	32
Figura 26. Variação do Conjugado em Função da Tensão de Alimentação	33
Figura 27. Corrente de Partida na Chave Estrela-Triângulo	34
Figura 28. Conjugado de Partida na Chave Estrela-Triângulo	34
Figura 29. Corrente de Partida na Chave Compensadora	36
Figura 30. Conjugado de partida na Chave Compensadora	36
Figura 31. Rampa de Tensão na Aceleração	37

Figura 32. Corrente x Velocidade	38
Figura 33. Cronograma das Etapas de Processo para Novos Produtos	39
Figura 34. Cronograma de Amostras	41
Figura 35. 1º Protótipo Nacional – Motorpact.....	42
Figura 36. Blocos de Decisão	46
Figura 37. Arvore de Escolha - Motorpact	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Corrente nominal nos Barramentos	8
Tabela 2. Características do Contator	10
Tabela 3. Característica FVNR	17
Tabela 4. Característica RVAT	19
Tabela 5. Característica e Dimensões – RVSS	21

LISTA DE SIGLAS

- FVNR: Partida De Motor Assíncrono Não Reversível Com Tensão Plena
- RVAT: Partida De Motor Assíncrono Com Autotransformador
- RVSS: Partida De Motor Assíncrono - Soft Starter
- BT: Baixa Tensão
- MT: Média Tensão
- TPC: Transformador de tensão de Controle
- TP: Transformador de Tensão
- TC: Transformador de Corrente
- LPTC: Transdutor de corrente de baixa potencia
- F.E.M: Força Eletro Motriz
- CEMA: Associação Canadense dos Fabricantes de Material Elétrico
- DIN: Associação de Normas Industriais Alemã
- IEC: International Electrotechnical Comission

Comissão formada por representantes de todos os países industrializados, suas normas são adotadas por diversos países.
- NEMA: Associação Nacional dos Fabricantes de Material Elétrico (EUA)
- ANSI: Americam National Standards Institute

Instituto de Normas dos Estados Unidos, que publica recomendações e normas em todas as áreas técnicas.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Atua em todas as áreas técnicas do país.
- ADD: Arquitetura do Documento de Decisão
- UG: Unidades de Gerenciamento
- R.E.U: Regional Equipament Unit
- B.O.M: Bill Of Material

RESUMO

O sucesso de uma empresa está associado à sua capacidade de entender como funcionam as forças do ambiente de negócios e de sua competência em converter de forma habilidosa esse conhecimento em produtos e serviços que ofereçam valor superior aos consumidores. As empresas que excedem as expectativas dos clientes surpreendendo-os com produtos e serviços inovadores, além de assegurarem vantagens competitivas sustentáveis, podem ocupar posições de liderança em mercados altamente competitivos.

A manutenção da alta competitividade em mercados onde as mudanças ambientais são freqüentes exige das organizações decisões criativas em nível tanto estratégicas como operacional.

A capacidade de a empresa atender os consumidores e gerar resultados empresariais positivos depende da habilidade dela de gerenciar a inovação e o processo de desenvolvimento de novos produtos.

A empresa Schneider Electric atualmente trabalha com dois níveis de produção na linha de painéis elétricos sendo: Nível Comercial (Nível-C) e Nível Industrial (Nível-I), que serão melhores explicados neste trabalho. A gama de painéis *Motorpact* era comercializada somente em nível – C, os painéis eram recebidos pré-fabricados dos EUA sendo, realizado aqui no Brasil o processo de customização do painel. Com a finalidade de se tornar nível- I houve durante o ano de 2008 a nacionalização do painel (fabricação de chaparia, montagem dos cubículos e montagens finais), através deste processo é esperada a diminuição do tempo de fabricação (Lead Time) devido à importação (estima-se 60 dias), uma diminuição no custo de montagem, que futuramente a empresa torne-se uma fornecedora para a América Latina, além de oferecer uma flexibilidade quanto à cor do painel (Painel importado somente na cor cinza).

Neste contexto o trabalho irá apresentar a linha de painéis fabricados pela Schneider referente a gama de partida de motores até 7,2kV, irá fazer um breve estudo sobre motores assíncronos e sobre alguns tipos de chave de partida e enfim tratar das etapas de nacionalização do painel.

Palavras Chave: Motores elétricos – Proteção Operacional – Nacionalização – Acionamentos elétricos – Painéis elétricos – Chaves de Partida

ABSTRACT

The company success is associated with its capacity to understand as the business-oriented forces of the environment and its ability in converting of form adept this knowledge in products and services function that offer superior value to the consumers. The companies who exceed the expectations of the customers surprising them with products and innovative services, beyond assuring sustainable competitive advantages, can occupy position of leadership in highly competitive markets.

The maintenance of the high competitiveness in markets where the ambient changes are frequent demands of the organizations creative decisions in level strategically as in such a way operational.

The capacity of the company to attend the consumers and to generate resulted enterprise positives depends on the ability of it to manage the innovation and the process of development of new products.

The company Schneider Electric actually, it works with two levels of production in the line of electric panels being: Commercial level (Level-C) and Industrial Level (Level-I), that better they will be explained in this work. The gamma of *Motorpact* panels was only commercialized in level – C - the panels were received prefabricated from the U.S.A. being made here in Brazil, the panel customization process. With the purpose of if becoming level – I, the nationalization of the panel had during the year of 2008 (manufacture of would plating, final assembly of the cubicles and assemblies), Through this process is waited the reduction of the time of manufacture (Lead Time) due to importation (it are esteemed 60 days), a reduction in the cost of assembly, that future the company becomes a supplier for Latin America, beyond offering a flexibility how much to the color of the panel (imported Panel only in the gray color).

In this context the work will go to present the line of panels manufactured for the referring Schneider the gamma of departure of engines until 7,2kV, will go to make a briefing study on asynchronous engines and some types of departure key and at last to deal with the stages of nationalization of the panel.

Keywords: Electric Engines - Operational Protection - Nationalization - Electric Drives - Electric Panels – Starter's Keys

1. INTRODUÇÃO

O acionamento de máquinas e equipamentos mecânicos por motores elétricos é um assunto de extraordinária importância econômica. Estima-se que o mercado de motores elétricos de todos os tipos, seja da ordem de uma dezena de bilhões de dólares por ano. No campo de acionamentos industriais, avalia-se que de 70 a 80% da energia elétrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja transformada em energia mecânica através de motores elétricos. Isto significa que se admitindo um rendimento da ordem de 80% do universo de motores em aplicações industriais, cerca de 20% da energia elétrica industrial, transforma-se em perdas nos motores.

No Brasil a fabricação de motores elétricos é um segmento relevante da atividade econômica, entretanto, entre o fabricante de motor e o usuário final existe um espaço que corresponde à correta seleção e aplicação de motores elétricos.

Fundamentalmente o processo de seleção de um acionamento elétrico, corresponde à escolha de um motor industrialmente disponível que possa atender a, pelo menos, três requisitos do utilizador.

- Fonte de Alimentação: tipo; tensão; frequência; simetria; equilíbrio.
- Condições ambientais: agressividade; periculosidade; altitude; temperatura.
- Exigência da Carga e Condições de Serviço: potencia solicitada; rotação; esforços mecânicos; configuração física; conjugados requeridos; ciclos de operação; confiabilidade;

A seguir algumas características básicas dos motores AC e DC:

- Motores DC: conhecidos por seu controle preciso de velocidade e por seu ajuste fino, são largamente utilizados em aplicações que exigem tais características. Vale comentar que, graças à grande evolução da eletrônica de potencia, fontes estáticas de correntes continua com tiristores confiáveis, de baixo custo e manutenção simples substituíram os grupos conversores rotativos. Com isso motores de corrente contínua, apesar de seu custo elevado, passaram a constituir alternativa em uma serie de aplicações que necessitem deste ajuste fino de velocidade.
- Motores AC: a maioria das aplicações tem sua configuração mais econômica com a utilização de motores de indução gaiola. Estima-se que 90% (em unidades) dos motores fabricados sejam desse tipo. Quando não há necessidade de ajuste e controle de velocidade e a potência é inferior a cerca de 500 cv, sua utilização é amplamente dominante. Pode-se dizer que outros tipos de motores são utilizados somente quando alguma peculiaridade determina tal opção.

A Schneider Electric é uma empresa Francesa líder mundial em gerenciamento da eletricidade e automação, com atuação em cinco mercados: Industrial, Energia e Infra-estrutura, Data Centers & Networks Predial e Residencial. Oferece soluções integradas para aumentar a produtividade e garantir a continuidade dos serviços com segurança e eficiência energética, proporcionando os mais elevados níveis tecnológicos, de acordo com as principais normas de qualidade e segurança nacionais e internacionais.

No Brasil, presente há mais de 60 anos, possui 4 fabricas: São Paulo (SP), Curitiba (PR), Sumaré (SP) e Guararema (SP), sendo a unidade em Sumaré responsável pela fabricação de painéis de baixa e média tensão.

Nesta unidade é fabricado o painel de partida a plena carga de motores: *Motorpact* que será o foco de estudo deste trabalho, que foi dividido em 4 principais partes:

No **Capítulo 2** tem-se a apresentação do painel, contendo sua área de atuação, composição de peças funcionais, tipos de painéis e suas características e as vantagens do painel.

O **Capítulo 3** irá abordar de forma sucinta e teórica os motores assíncronos, pois estes são os motores mais comumente usados nas indústrias.

No **Capítulo 4** tem-se uma explicação teórica dos tipos mais comuns de chaves de partidas de motores.

No **Capítulo 5** tem-se a explicação das etapas de nacionalização do painel, mostrando como funciona o processo de transferência de tecnologia de uma multinacional e como foi executada a parte prática do trabalho.

E no **Capítulo 6** tem-se a conclusão deste trabalho proposto.

2. APRESENTAÇÃO GERAL

Neste tópico será abordada uma apresentação geral do painel *Motorpact* [1] afim de uma introdução ao assunto e um melhor entendimento do trabalho em questão.

2.1 O Painei *MOTORPACT*

É uma inovadora gama de painéis de partida de motores de até 3800 kW, que foi projetado e fabricado para eliminar as dificuldades dos desafios do controle de processo e potência, fornecendo um desempenho incomparável, alta confiabilidade, baixa manutenção e tecnologia exclusiva que resulta em uma operação mais segura. São apropriados para todas as aplicações com motores de média tensão do mercado, em indústrias de óleo e gás, mineração, água, papel e celulose. Geralmente utilizado para dar partida em: bombas, ventiladores, compressores, resfriadores, esteiras transportadoras, e outros.

2.2 O Cubículo e sua Composição

O *Motorpact* é composto de cubículos modulares para uso abrigado (Figura 1). Consiste de quatro partes separadas por chapas metálicas ou isoladores e um painel de operação (seções especiais são requeridas para partidas com tensão reduzida),

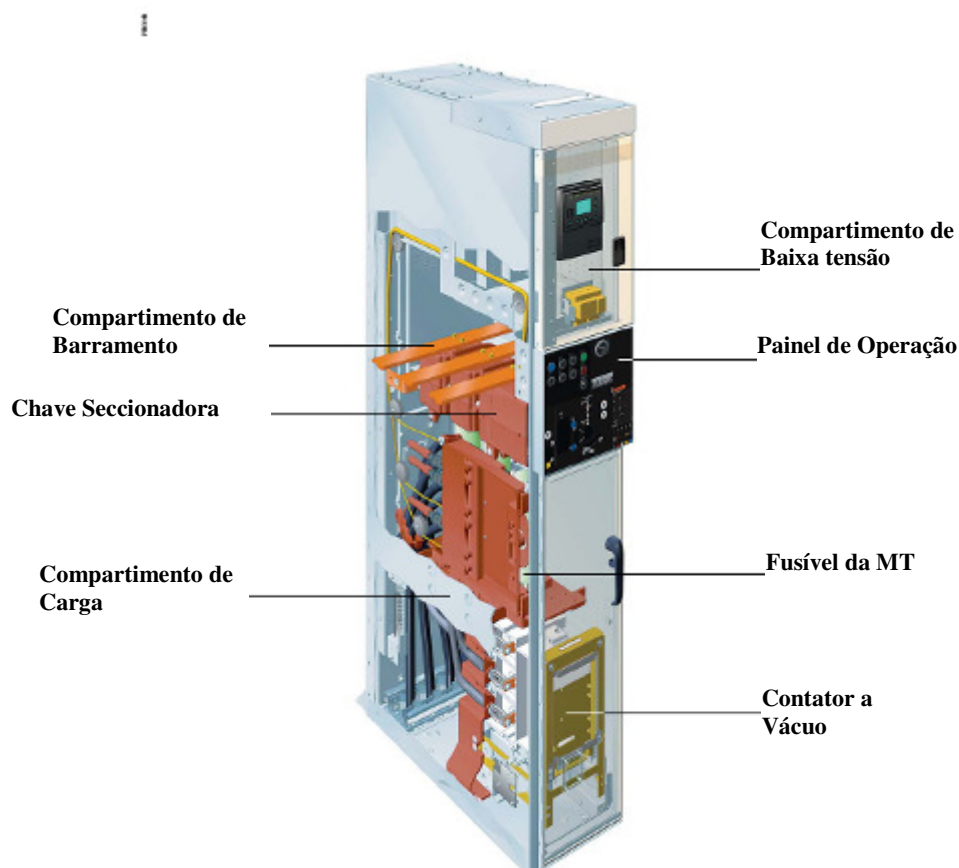


Figura 1. Composição do Painei *Motorpact*.

2.2.1 Chave seccionadora

Projetada e fabricada para ser livre de manutenção (5000 operações sem manutenção).

A chave seccionadora fornece isolamento entre o compartimento dos barramentos e o compartimento de carga. Situada no invólucro principal (Figura2) na parte superior do compartimento de carga, é operada manualmente pelo frontal do cubículo.

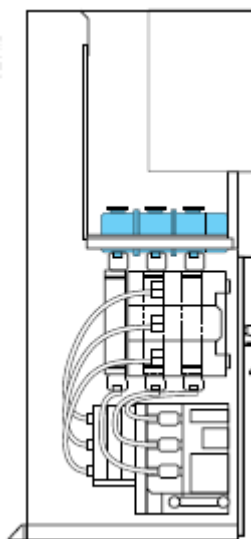


Figura 2. Localização da Seccionadora.

Possui duas posições de operação: Conectada (Fechada) ou Aterrada (Desconectada). A chave seccionadora (Figura 3) é um dispositivo sem carga capaz de interromper a corrente de magnetização do transformador de alimentação de controle (Classificação: 400 A).

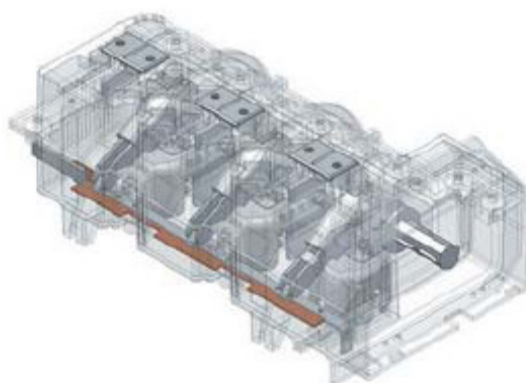


Figura 3. Chave Seccionadora.

Os contatos da chave seccionadora são facilmente visíveis. É disponível iluminação como opcional. Os terminais do lado da carga são integrados em uma única unidade multifuncional, que também integra os porta-fusíveis (fusíveis simples ou duplos).

O mecanismo da chave seccionadora incorpora os intertravamentos necessários para impedir o acesso ao compartimento de carga com o contator energizado.

O mecanismo de operação da chave seccionadora possui uma fechadura travável por cadeado nas posições aberta e fechada.

2.2.2 Compartimento de barramentos

Os barramentos são montados na posição horizontal diretamente sob o compartimento de baixa tensão da chave seccionadora (Figura 4). Barreiras são fornecidas para isolar o compartimento do restante da seção vertical individual.

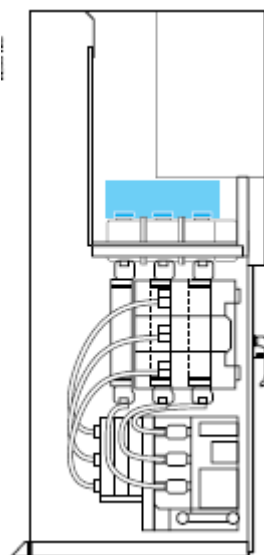


Figura 4. Localização dos Barramentos.

Os barramentos são conectados diretamente nos terminais da chave seccionadora. A conexão do disjuntor do painel principal é feita através de um cubículo de transição e ligações com barramentos de cobre sólidos. Possui como opcionais barramentos encapsulados.

O acesso aos barramentos para manutenção periódica só é possível através de uma tampa de acesso removível localizada na parte inferior do compartimento de baixa tensão (Figura 5)

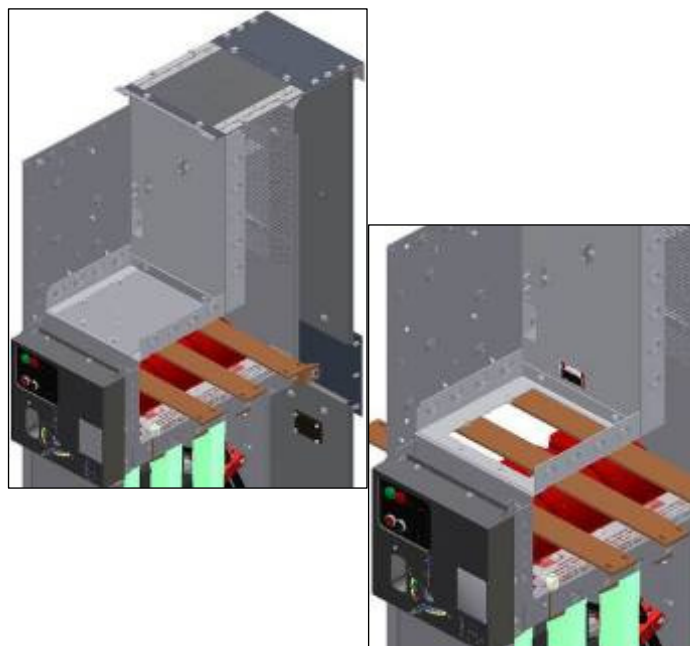


Figura 5. Acesso aos Barramentos.

Os barramentos são de até 3150 A e corrente suportável de curta duração conforme tabela abaixo (Tabela 1).

Calibre (A)	Corrente suportável de curta duração		
	3 s		2 s
	Até 31,5 kA	40 kA	50 kA
630	■		■
1250	■	■	■
2500	■	■	■
3150	■	■	■

Tabela 1. Corrente nominal nos Barramentos.

2.2.3 Compartimento de carga

O Compartimento de carga (Figura 6) do painel inclui:

- Um contator a vácuo extraível,
- 1 ou 2 fusíveis por fase,
- Um conjunto de sensores de corrente,
- Uma chave de aterramento do cabo (opcional), entrada para conexão de cabos (superior ou inferior)

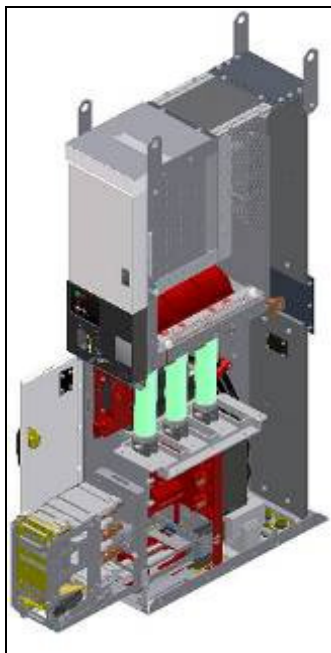


Figura 6. Vista do compartimento de Carga.

Opcionalmente, o compartimento de carga pode conter um transformador de tensão de controle (TPC), um transformador de tensão (TP) e um sistema de indicação de presença de tensão.

- Contator a vácuo

Localizado abaixo dos fusíveis (Figura 7) de potência e montado sobre trilhos, facilitando a remoção.

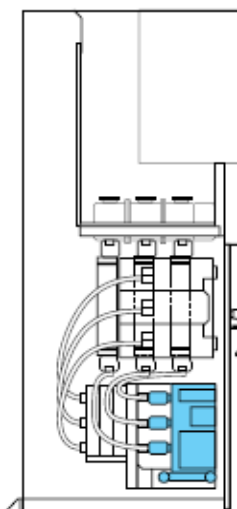


Figura 7. Localização do Contator a vácuo.

É utilizado como contator principal em todas as partidas de motores e transformadores de alimentação, como contator Start e Run na partida de motor RVAT (com autotransformador) e como contator de by-pass na partida de motor RVSS (com Soft-Starter).

Controla o motor e o transformador de alimentação. Pode ser retido eletricamente ou travado mecanicamente (opcional). Ele é combinado com fusíveis para elevada proteção contra curtos-circuitos e pode ser controlado local ou remotamente [2].

O contator (Figura 8) a vácuo está em conformidade com a norma IEC 60470 ¹e compreende:

- 3 pólos a vácuo (interrupção);
- uma unidade de controle eletromagnética
- um indicador de posição do contator,
- um contador de operações mecânico (opcional),
- contatos auxiliares,
- um sistema de extração de trilhos para a remoção do contator.

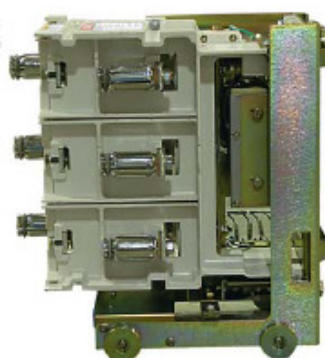


Figura 8. Contator a Vácuo.

Projetado para operar numa corrente de 200 ou 400 A (Tabela 2), nacionalmente só será utilizado contator para 400 A.

Características elétricas			
Tensão nominal		7,2 kV	
Corrente nominal		200/400 A	
Categoria de emprego		AC3/AC4	
Capacidade nominal de ruptura por curto-circuito (sem fusível)		6,3 kA	
Vida elétrica		250.000 operações	
Vida mecânica	tipo travado mecanicamente	250.000 operações	
	tipo retido eletricamente	2.500.000 operações	
Corrente de desligamento (média RMS)		0,5 A	
Frequência nominal de chaveamento		1200/hora	
		300/hora para versão com travamento mecânico	
Tempo máximo fechamento		80 ms ou menos	
Tempo máximo de operação		30 ms ou menos	
		300 ms ou menos (atrasado)	
Controle			
Tensão de alimentação	V CC	100/125	240/250
	V CA	115/120	230/240
	Variações possíveis:	+10% -15%	
Consumo	O fechamento é possível através das bobinas de fechamento.		
	As bobinas de retenção são inseridas no circuito no final do fechamento.		
		fechado	travado
	100-110 V	670 VA 80 ms	85 VA

Tabela 2. Características do Contator.

¹ IEC 60470: Contatores em corrente alternada de alta tensão e contatores baseados em partidas de motores

- Fusíveis de média tensão (MT)

Os fusíveis de MT são utilizados para proteção da corrente de curto-circuito. Estão em conformidade com as normas IEC 60282.1² e DIN 43625³, com capacidade elevada de interrupção. Possui uma limitação elevada da corrente de falha que reduz o esforço eletrodinâmico nos componentes do lado da carga (contatos, cabos, TCs ,etc).

Um indicador de queima de fusível “Fuselogic” é fornecido para abrir os três pólos do contator, em caso de falha de uma ou duas fases.

Como complementação os relés digitais fornecem proteção, medição e controle do motor ou transformador.

Sua montagem é independente de outros componentes (Figura 9), o que acarreta na facilidade de inspeção e manutenção.

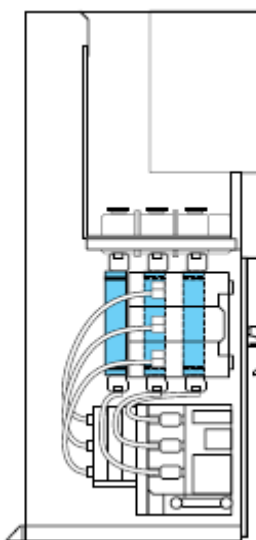


Figura 9. Localização dos Fusíveis.

- Sensores de corrente

Transdutor de corrente de baixa potência CLV1 (LPCT) é o sensor de corrente padrão do *Motorpact*. Consiste de um sensor de corrente de tensão trifásica que está em conformidade com a IEC 60044-8⁴ e atende a todas as aplicações desta norma. Sendo compatível com os relés digitais proporcionando o desempenho necessário para as funções de proteção e medição para as aplicações do motor e do transformador.

2 IEC 60282-1: Fusíveis de alta tensão: fusíveis limitadores

3 DIN 43625: High-voltage fuses; rated voltages 3,6 to 36 kV; fuse-links

4 IEC 60044-8: Transformadores de instrumentação - Parte 8: transdutores de corrente de baixa potência

Devido à sua linearidade (Gráfico 1), um único LPCT atende a toda a gama de operação. Se o motor mudar, somente a configuração do relé de proteção deve ser modificada [2].

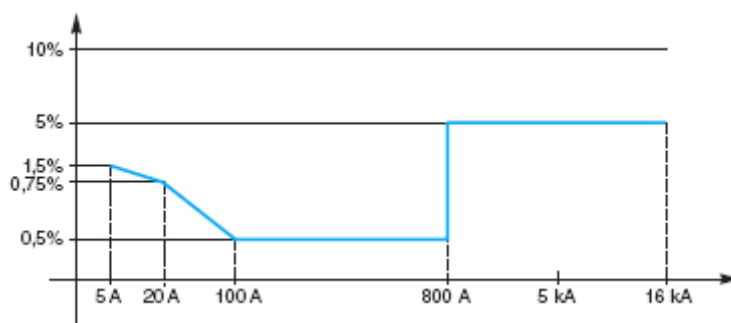


Gráfico 1. Gráfico de precisão.

O transdutor está localizado no conjunto do terminal de carga para fornecer o suporte necessário e garantir a resistência dielétrica (Figura 10).

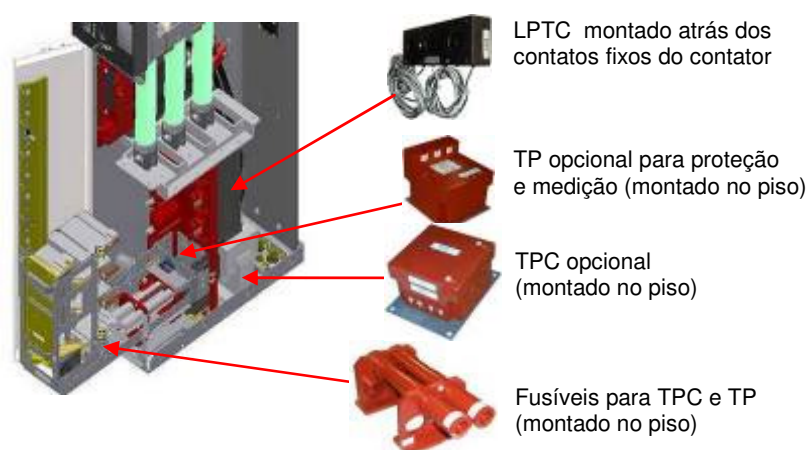


Figura 10. Localização dos sensores de correntes, TPs.

- Chave de aterramento do cabo e entrada para conexão de cabos

A chave de aterramento dos cabos aterra os cabos de partida e permite a sua descarga. Está situada no lado da carga do contator.

Possui uma capacidade de aterramento do interruptor de 14kA de pico e uma capacidade de 1000 operações sem carga (de acordo com a norma IEC). É intertravado mecanicamente com a chave seccionadora e a porta frontal de média tensão.

Como opcional tem-se uma chave disponível para a posição fechado ou aberto e uma chave de bloqueio para o acesso à manopla de operação, travando assim a chave de aterramento tanto na posição aberto quanto fechado.

Os suportes de terminação dos cabos estão localizados no lado esquerdo do contator principal da unidade FVNR para todas as aplicações inclusive as partidas soft starters e os autotransformadores. Eles estão situados a 310 mm do frontal do cubículo para permitir fácil acesso durante a instalação e a manutenção. Os suportes de terminação são apropriados para: 1 cabo máx. 240 mm² ou 2 cabos máx. 120 mm².

2.2.4 Compartimento de baixa tensão

É fornecido espaço adequado para todos os dispositivos necessários de controle e proteção, tais como relé de proteção, instrumentos de medição POWERMETER ou Circuit Monitor, relés auxiliares, etc.

O compartimento de baixa tensão é separado (Figura 11) do compartimento de média tensão por barreiras metálicas aterradas. Uma porta articulada está situada na parte superior do frontal do invólucro e acima do compartimento dos barramentos, onde relés e dispositivos de controle locais são montados alinhados na porta do gabinete. Terminais, mini-disjuntores, relés auxiliares são fixados em trilhos DIN dentro do gabinete.

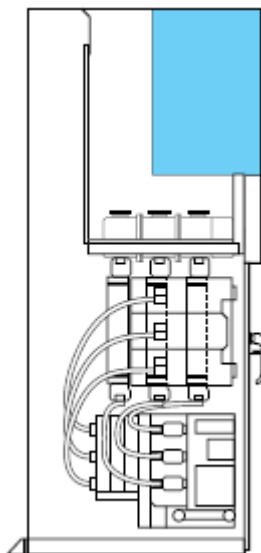


Figura 11. Localização do compartimento BT.

Sob o compartimento de baixa tensão, no frontal do compartimento de barramentos, uma proteção fixa agrupa os botões à impulsão, as lâmpadas, o sistema indicador de presença de tensão e um indicador mecânico de posição da chave seccionadora.

Para acessar o barramento principal através da parte frontal do painel, é fornecido um painel removível na parte inferior do compartimento de baixa tensão.

2.2.5 Painel de operação

Contém todos os dispositivos necessários para operar a chave seccionadora e a chave de aterramento do cabo.

O painel frontal de operação (Figura 12) possui controles diferentes e elementos indicativos:

- Botões à impulsão de controle - Liga e Desliga;
- Sinalizadores;
- Interruptor local-remoto (opcional);
- Diagrama sinótico;
- Seqüência de operação;
- Indicador fechado aberto;
- Medidor de tempo de funcionamento (opcional);
- Sistema de indicação da presença de tensão.



Figura 12. Painel de operação.

Permite o controle, o intertravamento e o travamento com cadeado da: manopla da chave de aterramento, da manopla da chave seccionadora.

O painel também inclui uma janela de visualização e um botão à impulsão para a retro-iluminação da chave seccionadora e do compartimento de carga.

2.3 Tipos de Painéis e Características

A gama de painéis *Motorpact* contém 3 tipos de painéis, são eles:

- Partida de motor assíncrono não reversível com tensão plena - FVNR
- Partida de motor assíncrono com autotransformador - RVAT
- Partida de motor assíncrono com Soft-Starter - RVSS

2.3.1 Partida de Motor Assíncrono não Reversível com Tensão Plena – FVNR

Considerada uma solução simples e confiável que proporciona o conjugado máximo de partida permitido pelo motor, é apropriada para a maioria das aplicações. Como o motor apresenta elevada corrente de partida (tipicamente 600% da corrente total do motor), ele pode ser utilizado se não houver restrições do motor, da máquina ou da rede.

A partida com tensão reduzida deverá ser utilizada nas seguintes aplicações:

- Quando o conjugado máximo de partida pode resultar em uma partida brusca da máquina, o que pode causar esforços mecânicos indesejáveis.
- Quando uma corrente elevada de entrada durante a partida pode provocar queda da tensão em linha do sistema a níveis inaceitáveis e resultar em potenciais danos ao equipamento ou instabilidade na rede.

Este é o painel adotado para nacionalização (Figura 13), uma vez que os outros dois modelos (RVAT e RVSS) não são muito comercializados no Brasil.

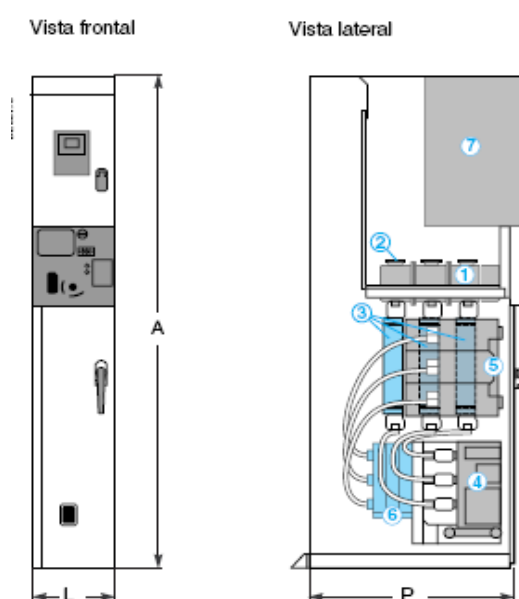


Figura 13. Painel FVNR.

O mecanismo da chave seccionadora incorpora intertravamentos necessários (mecânico e/ou elétrico) para impedir o acesso ao compartimento de carga com o contator energizado. Todos intertravamentos requerem três operações simultâneas para que todas as funções sejam interrompidas sem que nenhuma peça seja danificada.

O intertravamento previne o fechamento da chave seccionadora (em operações normais) se:

- o contator estiver fechado,
- a porta do compartimento de carga estiver aberta,
- o contator não estiver totalmente na posição conectado,
- se a chave de aterramento do cabo estiver fechada.

Previne o fechamento do contator se o sistema Fuselogic não tiver sido restabelecido.

Previne o destravamento da porta do compartimento de carga quando a chave seccionadora estiver fechada.

Impede o acesso ao compartimento de carga, exceto quando:

- o contator estiver aberto e a chave seccionadora aterrada,
- a chave de aterramento estiver fechada,
- a manopla de operação tenha sido removida.

Possibilita uma posição de teste que reúne os seguintes critérios:

- a porta frontal tenha sido aberta para acesso,
- a chave seccionadora está aberta e aterrada e não pode ser fechada,
- o contator está inteiramente na posição conectado e pode ser operado,
- o transformador de alimentação de controle tenha sido isolado da potência de controle de teste.

Nenhum dos intertravamentos necessita de ajustes durante o período de vida do equipamento.

Sua característica de operação segue conforme tabela abaixo (Tabela 3) e sua simbologia na Figura 14.

Características

		FVNR
Tensão nominal máxima		7,2 kV
Tensão suportável de impulso (1,2/50 μ s, valor de pico)		60 kV
Tensão suportável da frequência industrial (1 min)		20 kV
Corrente suportável de curta duração nominal (barramentos)		25 kA 3 s
		31,5 kA 3 s
		40 kA 3 s
		50 kA 2 s
Frequência nominal		50/60 Hz
Corrente nominal de operação		200/400 A
Corrente nominal do barramento principal		630 A
		1250 A
		2500 A
		3150 A
Categoria de emprego		AC3/AC4
Conexões dos cabos		simples ou trifásico
		máximo 1 x 240 mm ² ou 2 x 120 mm ²
		inferior ou superior
Dimensões	Altura	2300 mm
	Largura	375 mm
	Profundidade	950 mm
Peso aproximado		475 kg

Tabela 3. Característica FVNR.

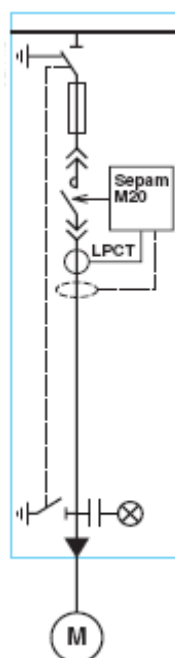


Figura 14. Simbologia do Painel FVNR.

2.3.2 Partida de Motor Assíncrono com Autotransformador - RVAT

Esta gama (Figura15) é utilizada quando a rede não pode suportar elevadas correntes de partida. Uma partida de motor com autotransformador fornece tensão reduzida aos terminais do motor durante a partida. Isto reduz a corrente em linha e fornece o conjugado de partida necessário.

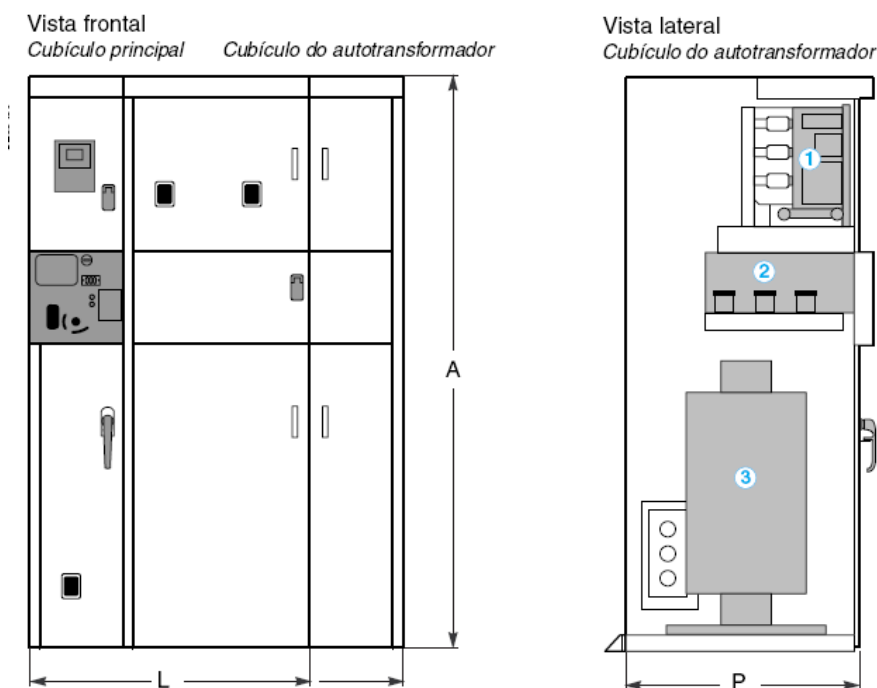


Figura 15. Painel RVAT.

1-Contator a vácuo

2-Barramentos

3-Autotransformador

Assim como o FVNR o mecanismo da chave seccionadora no cubículo principal incorpora os intertravamentos necessários para impedir o acesso ao compartimento de carga com o contator energizado. O mecanismo da chave seccionadora é intertravado com o cubículo do autotransformador para impedir o acesso aos componentes de média tensão (autotransformador e contatores).

Os contatores são mecânica e eletricamente intertravados para prevenir fechamento simultâneo. Nos cubículos do autotransformador, as portas são intertravadas para impedir o fechamento da chave seccionadora sem que estas estejam fechadas.

A potência para os contatores é proveniente do cubículo principal adjacente e percorre em sentido reverso para a caixa do terminal de carga no cubículo principal.

O autotransformador possui um design que permite ser manipulado separadamente, facilitando o manuseio, o posicionamento e a instalação no cubículo.

O cubículo é disponível com um compartimento de barramento principal que permite uma fácil expansão do painel que pode ser uma unidade FVNR, RVSS ou outra RVAT. Sua característica de operação segue conforme tabela abaixo (Tabela 4), e sua simbologia na Figura 16.

Características

Potência máxima do motor		440 kW	3800 kW
Dimensões	Altura	2300 mm	2300 mm
	Largura	1500 mm	1875 mm
	Profundidade	950 mm	950 mm
Peso aproximado (peso do autotransformador a ser adicionado)		1200 kg	1360 kg

O autotransformador é projetado segundo os requerimentos do motor:

Potência nominal	
Tensão de serviço	
Corrente nominal	
Frequência	
Corrente de partida	
Tempo de partida (motor)	
Tempo de partida (motor + autotransformador)	
Número de partidas/hora	
Número de partidas consecutivas	

Tabela 4. Característica RVAT.

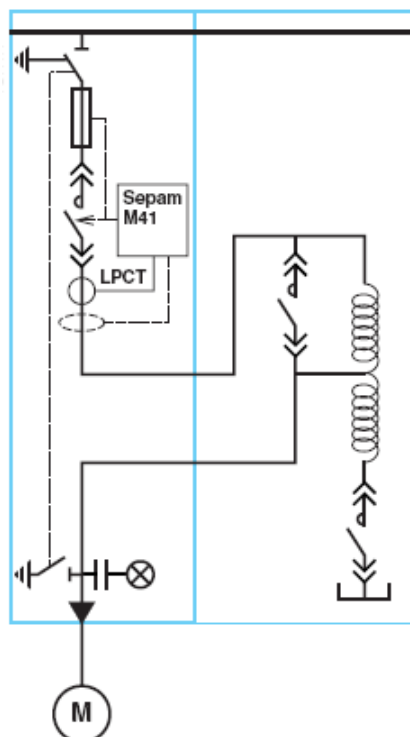


Figura 16. Simbologia do Painel RVAT.

2.3.3 Partida de Motor Assíncrono - Soft Starter – RVSS

A partida de motor soft starter (Figura 17) fornece frenagem controlada, aceleração e desaceleração suaves, qualquer que seja a carga. Este método de partida diminui a corrente de partida do motor e reduz os esforços elétricos na rede e no motor.

Isto reduz o conjugado de partida (pico de corrente), o motor e os componentes mecânicos de carga, proporcionando maior vida útil e menos tempo em manutenção.

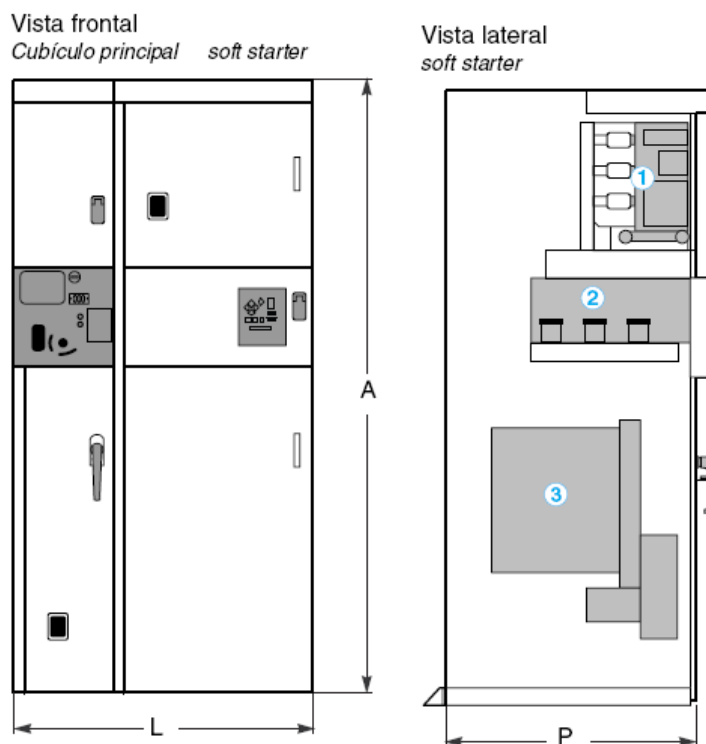


Figura 17. Painel RVSS.

Onde:

1- Contator a vácuo de by-pass

2- Barramentos

3- Módulo de partida de motor - soft starter

Assim como nos outros dois tipos de painéis o mecanismo da chave seccionadora no cubículo principal incorpora os intertravamentos necessários para impedir o acesso ao compartimento de carga com o contator energizado e o mecanismo da chave seccionadora é intertravado com chave com o cubículo do soft starter para impedir o acesso aos componentes de média tensão:

- Soft starter,
- Contator de by-pass,
- Placa de comunicação.

As portas são intertravadas para impedir o fechamento do soft starter sem que estas estejam fechadas.

A potência para o módulo soft starter é proveniente do cubículo principal adjacente. Quando for dada partida no motor, o contator de by-pass é fechado, podendo ser aberto para permitir uma desaceleração suave do motor.

Sua característica de operação segue conforme tabela abaixo (Tabela 5.), e sua simbologia na Figura 18.

Características

Corrente nominal		200/400 A
Dimensões	Altura	2300 mm
	Largura	1125 mm
	Profundidade	950 mm
Peso aproximado		1095 kg

Tabela 5. Característica e Dimensões – RVSS.

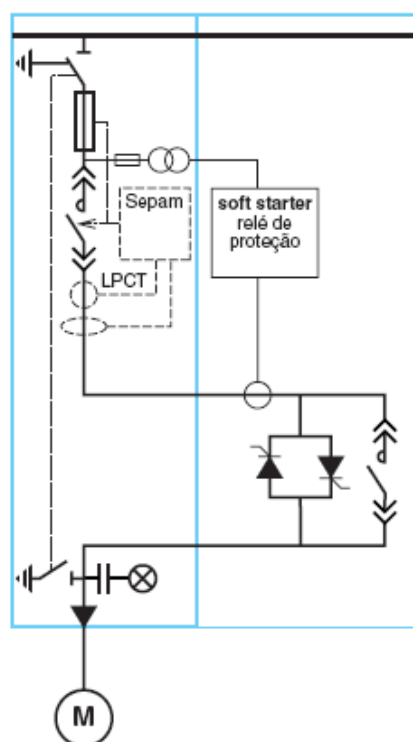


Figura 18. Simbologia do Painel RVSS.

2.4 Vantagens do *Motorpact*

Dentre as características do painel podemos citar como vantagens o baixo custo de instalação, compacidade, confiabilidade, manutenção, segurança e a facilidade de operação:

Baixo custo de instalação

Usualmente seu transporte é feito de 2 unidades (há a possibilidade do transporte de até 5 unidades) pré montadas o que acarreta em :

- Redução no tempo de instalação e mão de obra
- Minimização de riscos de erros de instalação

A fiação de baixa tensão é integrada, simplificando a fiação em campo e instalação da proteção, controle e comunicação. O acesso frontal e traseiro do compartimento de cabos simplifica a instalação de cabos.

Compacidade e flexibilidade

Base compacta com 375 mm de largura (Figura 19) possui design único que permite entradas de cabos pela parte superior e inferior do painel. Cubículos de transição permitem expansão de outros equipamentos da Schneider Electric. Ideal para aplicações de “retrofit” (atualização de novos equipamentos).

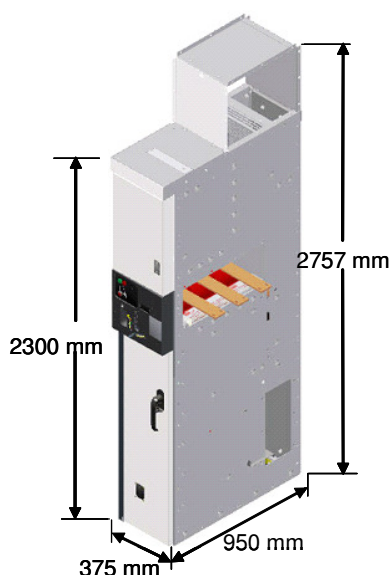


Figura 19. Dimensões do Painel.

Alta confiabilidade

- Arquitetura simples com uma chave seccionadora, que reduz o número de peças, pois possuem 40% menos conexões e partes aparafusadas com um suporte de montagem entre componentes e proporciona intertravamentos simples e robustos.
- Soluções padronizadas fornecem projetos testados para a linha completa de aplicações de motores.
- Poucas conexões de barramento reduzem manutenção, resistência e elevação de temperatura.
- Compartimentos de BT separados aumentam a compatibilidade eletromagnética (EMC) e o controle da fiação.
- Projeto global em conformidade com todas as normas relevantes da IEC e NEMA.

Manutenção reduzida

- Todos os componentes necessários à partida de motor são acessíveis para manutenção, sem desenergizar todo o painel.
- Contator a vácuo livre de manutenção.
- Chave seccionadora livre de manutenção de alta durabilidade, projetado para atender 5000 operações.
- Sistema de diagnóstico térmico para manutenção preventiva.

Facilidade de operação

- Toda parte de controle é localizada a uma altura conveniente para operação.
- Possui uma janela de visualização da posição da seccionadora com uma luz de fundo opcional para visualização dos contatos.
- Os mecanismos de operação são simples e direto garantindo facilidade e confiabilidade de operação.
- Mecanismos de intertravamentos previnem acesso ao compartimento de carga quando energizado.
- Manutenção pela parte frontal permitindo acesso as conexões de cabos, fusíveis, contator, barramento.
- Rápida troca de fusíveis.

Segurança

- Totalmente testado para resistência a arco interno em todos os compartimentos de MT.
- Compartimentos seguros impedem o acesso indevido aos compartimentos de MT.
- A janela de inspeção no frontal do equipamento permite visualizar a posição da chave seccionadora, indicando a isolação segura do contator.
- Chave de aterramento do cabo com capacidade de fechamento.
- Operação com porta fechada.
- Intertravamentos simples previnem erros inadvertidos do operador.
- Disponível sistema de indicação de presença de tensão

3 MOTORES ASSINCRONOS

Neste capítulo trataremos dos motores Assíncronos, também conhecidos como motores de indução, por se tratarem dos equipamentos mais comumente usados com o painel de acionamento *Motorpact*.

O motor de indução converteu-se no tipo mais usado na indústria, pois a maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia elétrica é de corrente alternada, além de serem considerados mais robustos e baratos possuem maiores facilidades para inversão do sentido de rotação [3]. Nestes motores, o campo girante roda a velocidade síncrona, como nas máquinas síncronas. Teoricamente, para o motor girando em vazio e sem perdas, o rotor teria também a velocidade síncrona. Entretanto ao ser aplicado um conjugado (torque) externo ao motor, o seu rotor diminuirá de velocidade na justa proporção necessária para que a corrente induzida pela diferença de rotação entre o campo girante (síncrono) e o rotor, passe a produzir um conjugado eletromagnético igual e oposto ao conjugado externamente aplicado. O conjugado eletromagnético é proporcional ao fluxo produzido pelo campo girante, e à corrente e fator de potência do motor [4].

A perda de rotação do rotor, necessária para que um conjugado eletromagnético seja produzido chama-se escorregamento e é dado pela fórmula:

$$s = \frac{ns - n}{ns}, \text{ onde:}$$

s = escorregamento;

n = velocidade do motor;

ns = velocidade síncrona

3.1 Constituição do motor de indução

O motor assíncrono é constituído, basicamente, pelos seguintes elementos.

- Um circuito magnético estático: composto de chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si, ao qual se dá o nome de estator, em que fica a carcaça que é a estrutura que também tem a função de suporte do conjunto. Possui uma construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e com aletas para refrigeração.
- Bobinas: de acordo com o número de grupos que caracterizam o motor monofásico ou polifásico; localizadas em cavas abertas no estator e alimentadas pela rede de corrente alternada.

- Rotor: formado por um núcleo ferromagnético, também laminado, sobre o qual se encontra um enrolamento ou um conjunto de condutores paralelos, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator.

O rotor é apoiado em uma cavidade que transmite à carga a energia mecânica produzida. O entreferro (distância entre o rotor e o estator) é bastante reduzido, de forma a diminuir a corrente em vazio, que ocasiona perdas, mas também aumenta o fator de potência em vazio.

Como exemplo apresenta-se na Figura 20, os diversos elementos do motor assíncrono de rotor em gaiola de esquilo.

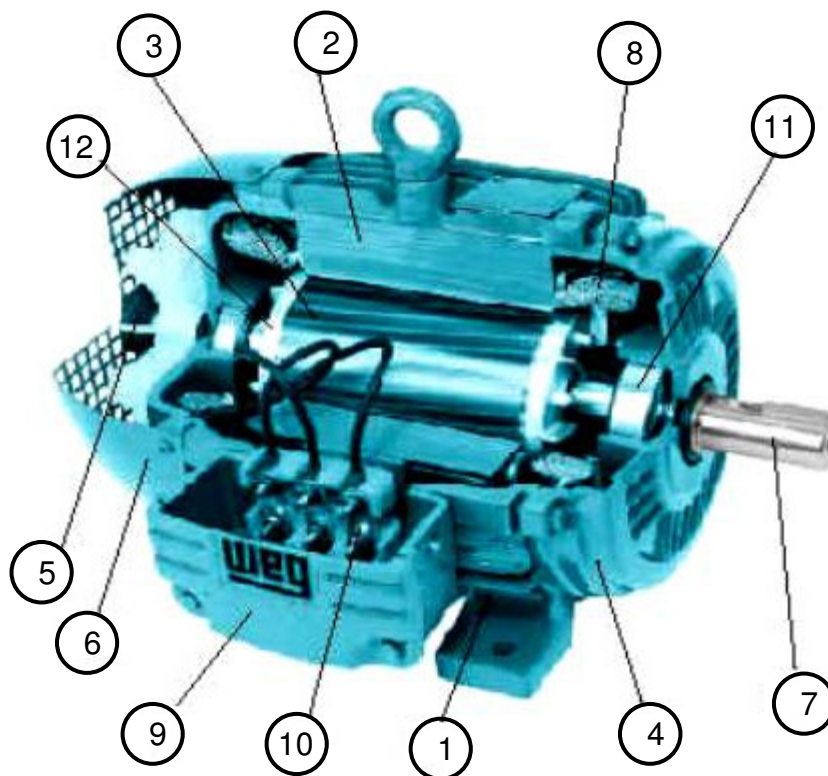


Figura 20. Partes de um Motor de Indução Gaiola de Esquilo.

Sendo:

Carcaça (1): A carcaça é a estrutura que suporta todo o conjunto do motor (mancais, rotor, bobinas, etc). Ela pode ser feita de ferro fundido, aço ou alumínio.

- Núcleo (2): O núcleo de aço magnético é responsável pela "amplificação" do campo magnético gerado pelas bobinas.

- Enrolamento (3): O enrolamento é o conjunto de bobinas que produz o campo magnético girante.

A carcaça, o núcleo e o enrolamento, por não se moverem, recebem o nome de estator. O rotor é constituído pelo eixo (7), núcleo de chapas (8), e as barras e anéis de curto-circuito.

As demais partes são: tampa (4), ventilador (5), tampa defletora (6), caixa de alimentação (9), terminais (10) e rolamentos (11).

Quando o motor é energizado, ele funciona como um transformador com secundário em curto-circuito, portanto exige da rede uma corrente muito maior que a nominal, podendo atingir cerca de sete vezes o valor da corrente nominal ($7 \times I_n$). À medida que o campo girante arrasta o rotor, aumentando sua velocidade, a corrente diminui até atingir a corrente nominal, no tempo em que a rotação atinge seu valor nominal.

3.2 Vantagens dos Motores Assíncronos

Pelas suas características, preço e robustez, o motor de indução é o preferido para a maior parte dos acionamentos fabris.

Entretanto, há de se destacar que o motor de indução ideal esta numa faixa de velocidade entre 900 e 1800rpm, e com potências inferiores a alguns milhares de kW. Associado aos modernos conversores eletrônicos de tensão e frequência variáveis, os motores de indução tendem a assumir um papel quase que exclusivo nos acionamentos elétricos [3].

3.3 Funcionamentos de um Motor Assíncrono

Resumidamente o funcionamento do motor assíncrono acontece a partir do momento que os enrolamentos localizados nas cavidades do estator são sujeitos a uma corrente alternada, gera-se um campo magnético no estator, conseqüentemente, no rotor surge uma força eletromotriz induzida devido ao fluxo magnético variável que atravessa o rotor. A força eletromotriz (f.e.m.) induzida dá origem a uma corrente induzida no rotor que tende a opor-se à causa que lhe deu origem, criando assim um movimento giratório no rotor.

Como podemos constatar o princípio de funcionamento do motor de indução baseia-se em duas leis do Eletromagnetismo, a Lei de Lenz ("O sentido da corrente induzida é tal que esta pelas suas ações magnéticas tende sempre a opor-se à causa que lhe deu origem.") e a Lei de Faraday ("Sempre que através da superfície abraçada por um circuito tiver lugar uma variação de fluxo, gera-se nesse circuito uma força eletromotriz induzida. Se o circuito é fechado será percorrido por uma corrente induzida").

3.4 Motores de Indução Monofásicos

Os motores monofásicos (Figura 21) são assim chamados porque os seus enrolamentos de campo são ligados diretamente a uma fonte monofásica. Os motores de indução monofásicos são a alternativa natural aos motores de indução trifásicos, nos locais onde não se dispõe de alimentação trifásica, como residências, escritórios, oficinas e em zonas rurais. Apenas se justifica a sua utilização para baixas potências (1 a 2 KW) [5].

Entre os vários tipos de motores elétricos monofásicos, os motores com rotor tipo gaiola destacam-se pela simplicidade de fabricação e, principalmente, pela robustez e manutenção reduzida. Por terem somente uma fase de alimentação, não possuem um campo girante como os motores trifásicos, mas sim um campo magnético pulsante. Isto impede que tenham torque de arranque, tendo em conta que no rotor se induzem campos magnéticos alinhados com o campo do estator. Para solucionar o problema de partida utilizam-se enrolamentos auxiliares, que são dimensionados e posicionados de forma a criar uma segunda fase fictícia, permitindo a formação do campo girante necessário para o arranque.

Tipos de Motores de indução monofásicos:

- Motor de Pólos Sombreados;
- Motor de Fase Dividida;
- Motor de Condensador de Partida;
- Motor de Condensador Permanente;
- Motor com dois Condensadores.



Figura 21. Motor monofásico [6].

3.5 Motores Trifásicos

O motor de indução trifásico é o tipo mais utilizado, tanto na indústria como no ambiente doméstico, devido à maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia elétrica ser trifásicos de corrente alternada. Este capítulo tratará essencialmente dos motores de indução trifásico, já que na prática constituem o grande leque dos motores de indução.

A utilização de motores de indução trifásicos é aconselhável a partir dos 2 KW, Para potências inferiores justifica-se o uso de monofásicos.

O motor de indução trifásico apresenta vantagens ao monofásico, como o arranque mais fácil, menor nível de ruído e menor preço para potências superiores a 2KW.

Os dois tipos mais usados de motor trifásico são:

- Motor de indução com rotor Gaiola de Esquilo
- Motor com Rotor Bobinado

3.5.1 Motor de Indução com Rotor Gaiola de Esquilo

Este é o motor mais utilizado na indústria atualmente. Tem a vantagem de ser mais econômico em relação aos motores monofásicos tanto na sua construção como na sua utilização. Além disso, escolhendo o método de arranque ideal, tem um leque muito maior de aplicações.

O rotor em gaiola de esquilo é constituído por um núcleo de chapas ferromagnéticas, isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio (condutores), dispostos paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades por dois anéis condutores, também em alumínio, que curto-circuitam os condutores (Figura 22).

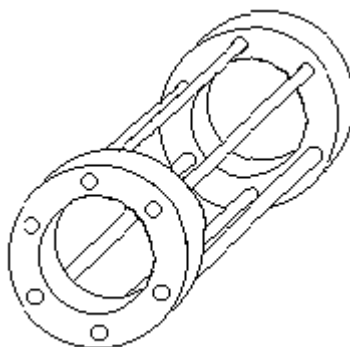


Figura 22. Rotor gaiola de esquilo.

O estator do motor é também constituído por um núcleo ferromagnético laminado, nas cavas do qual são colocados os enrolamentos alimentados pela rede de corrente alternada trifásica.

A vantagem deste rotor relativamente ao de rotor bobinado é que resulta numa construção do induzido mais rápida, mais prático e mais barato.

Trata-se de um motor robusto, barato, de rápida produção, não exigindo coletor (órgão sensível e caro) e de rápida ligação à rede.

As barras condutoras da gaiola são colocadas geralmente com certa inclinação, para evitar as trepidações e ruídos resultantes da ação eletromagnéticas entre os dentes das cavas do estator e do rotor.

A principal desvantagem é que o torque de partida é reduzido em relação a corrente absorvida pelo estator. O motor de indução de rotor bobinado substitui o de rotor em gaiola de esquilo em potência muito elevada, devido ao abaixamento da corrente de partida permitido pela configuração do rotor. Apesar de ser utilizado em casos com velocidades constantes de serviço, aplica-se, preferencialmente, quando as velocidades de serviço são variáveis [3].

A figura abaixo (Figura 23) mostra a “projeção” da vista de um motor com rotor tipo gaiola de esquilo [7].

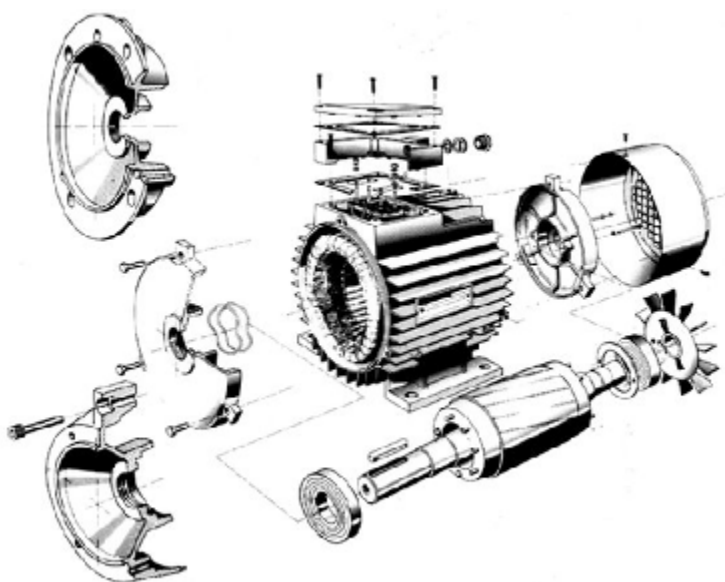


Figura 23. "Projeção" do motor assíncrono de rotor em gaiola de esquilo.

3.5.2 Motor com Rotor Bobinado

O motor de rotor bobinado (Figura 24) difere do motor de rotor em gaiola de esquilo apenas quanto ao rotor, constituído por um núcleo ferromagnético laminado sobre o qual são alojadas as espiras que constituem o enrolamento trifásico, geralmente em estrela. Os três terminais livres de cada uma das bobinas do enrolamento trifásico são ligados a três anéis de deslizamento de escovas colocados no eixo do rotor e por meio de escovas de grafite estacionadas no estator. Estes três anéis ligam exteriormente a um reostato de arranque constituído por três resistências variáveis, ligadas também em estrela. Deste modo os enrolamentos do rotor também ficam em circuito fechado.

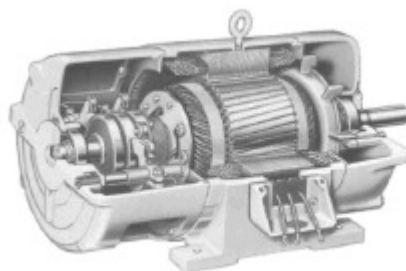


Figura 24. Motor com Rotor Bobinado.

A função do reostato de arranque, ligados aos enrolamentos do rotor, é reduzir as correntes de arranque elevadas, no caso de motores de elevada potência. À medida que o motor vai ganhando velocidade, as resistências são progressivamente retiradas do circuito até ficarem curto-circuitadas (retiradas), quando o motor passa a funcionar no seu regime nominal. Desta forma, o motor de rotor bobinado também funciona com os elementos do rotor em curto-circuito (tal como o motor de rotor em gaiola de esquilo), quando atinge o seu regime nominal.

São comumente empregados quando se necessita de partida a tensão plena de armadura, com grande conjugado de partida e corrente de linha moderada na partida.

4 CHAVES DE PARTIDA

Um dos instantes mais críticos é a partida de motores elétricos, pois nesse momento, os motores solicitam uma corrente muito maior do que em serviço contínuo devido à mudança de um estado de inércia do motor. A isso chamamos de pico de corrente. No instante da partida, essa corrente costuma variar na faixa de seis a oito vezes a corrente nominal do motor [3].

A amplitude e o tempo do pico da corrente inicial dependem das condições de partida. Se for uma partida sob carga, o pico será maior do que se for a vazio. Pode-se chegar até dez vezes o valor normal, essa alta corrente pode até disparar dispositivos de proteção dos circuitos e comandos. Além disso, sobrecarrega a rede alimentadora de uma forma prejudicial.

Na figura 25 tem-se uma curva que relaciona a corrente de partida com a velocidade angular.

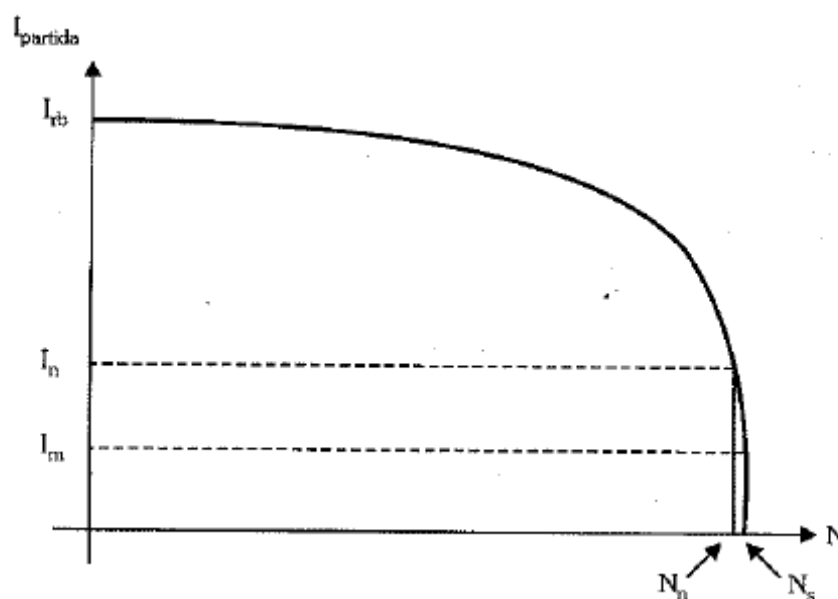


Figura 25. Relação entre Corrente de Partida e Velocidade Angular do Motor.

Pode-se notar que, na partida, quando a velocidade do motor é praticamente nula, temos a corrente máxima que se mantém neste patamar até um valor próximo da velocidade de trabalho do motor nominal. Com isso, podemos afirmar que a corrente consumida por um motor é função da tensão aplicada nele, assim uma das funções das chaves de partida é a redução da tensão durante a partida do motor e depois a aplicação de tensões nominal, quando o motor já estiver na velocidade de trabalho [8].

4.1 Partidas Diretas

Conforme se viu na descrição do painel FVNR à partida direta é a forma mais simples de partir um motor elétrico, nas quais as três fases são ligadas diretamente ao motor, ocorrendo um pico de corrente. A partida de um motor trifásico direta deve ser executada sempre que possível e por imposição da concessionária, só podem ser partidos motores abaixo de 5 cv em instalações comerciais e abaixo de 10 cv em instalações industriais.

A partida direta deve ser utilizada nos seguintes casos:

- Baixa potencia do motor de modo a limitar as perturbações originadas pelo pico de corrente;
- A máquina movimentada não necessita de uma aceleração progressiva e está equipada com um dispositivo mecânico (reductor) que evita uma partida muito rápida
- O conjugado de partida é elevado.

As principais vantagens de se utilizar uma chave de partida direta é o fato de se tratar de equipamentos simples e de fácil construção e projeto, proporcionando uma partida mais rápida além de apresentar um menor custo.

Entretanto, neste tipo de partida, a elevada corrente de partida do motor tem como desvantagem a acentuada queda de tensão no sistema de alimentação da rede, que ocasiona interferências em equipamentos instalados no sistema. Os sistemas de acionamento (dispositivos, cabos) devem ser superdimensionados, elevando os custos do sistema e há uma limitação na queda de tensão na rede imposta pelas concessionárias.

Na partida direta, a corrente de partida é diretamente proporcional à tensão de alimentação e diminui à medida que a velocidade aumenta e o conjugado de partida varia proporcionalmente ao quadrado da tensão de alimentação conforme Figura 26.

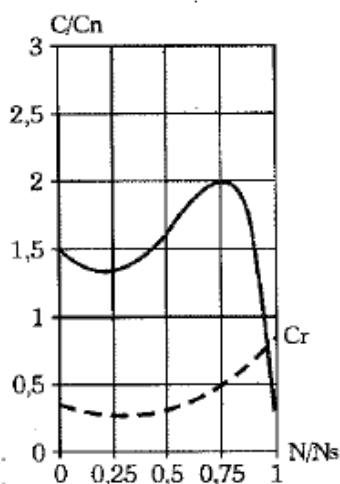


Figura 26. Variação do Conjugado em Função da Tensão de Alimentação.

4.2 Partida Estrela-Triângulo

Consiste na alimentação do motor com uma redução de tensão nas bobinas durante a sua partida. O motor parte em estrela, isto é, com uma tensão de 58% da tensão nominal, e após certo tempo a ligação é convertida em triângulo, assumindo a tensão nominal. Essa chave proporciona uma redução na corrente de partida de aproximadamente 33% de seu valor, como mostra a Figura 27. Deve ser usada em aplicações que tenham um conjugado resistente de até um terço do conjugado de partida.

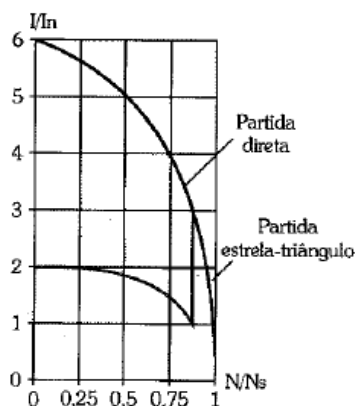


Figura 27. Corrente de Partida na Chave Estrela-Triângulo.

A chave estrela-triângulo, na prática, é utilizada quase que exclusivamente para partidas de máquina a vazio, isto é, sem carga. Uma vez que o conjugado de partida é proporcional ao quadrado da tensão de alimentação, teremos um conjugado de mais ou menos 20 a 50% do conjugado nominal. Somente depois de ter atingido a tensão nominal é que a carga pode ser aplicada.

A velocidade do motor estabiliza-se quando os conjugados, de motor e resistente se equilibram, geralmente entre 75% e 85% da velocidade nominal. Os enrolamentos são ligados em triângulo e o motor recupera as suas características nominais. A passagem da ligação estrela para ligação triângulo é controlada por um temporizador. A seguir, tem-se um gráfico que mostra o conjugado para esse tipo de partida (Figura 28).

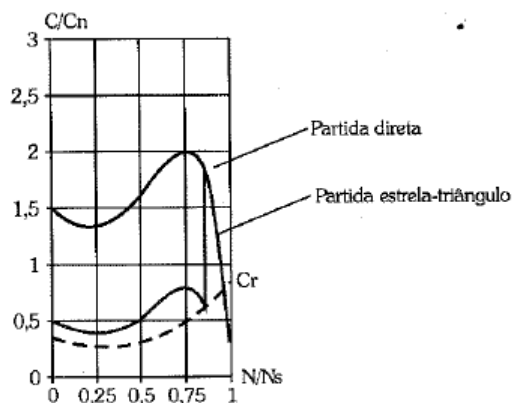


Figura 28. Conjugado de Partida na Chave Estrela-Triângulo.

4.3 Autotransformadores de Partida

O autotransformador de partida possui um núcleo magnético plano, formado por três colunas de chapas de aço silício fechadas no topo. Três enrolamentos estão localizados nas colunas. Os terminais inferiores desses enrolamentos são conectados em y, formando um centro que é suspenso. Ao longo do enrolamento do autotransformador, são feitos TAPs operacionais nas alturas de tensão de 50%, 65% e 80% da tensão aplicada na fase.

Desta forma, o conjugado motor da máquina acionada e a corrente que circula no enrolamento do motor ficam reduzidos por fatores correspondentes ao TAP escolhido para operação.

A corrente, ao longo de todo o processo de partida do motor, fica reduzida em função da aplicação de uma tensão menor do que a nominal nos terminais do motor em processo de partida.

Como consequência direta desse fato, o conjugado também se reduz e a curva característica conjugado versus rotação tem um valor inferior à curva característica de tensão plena. Esse novo posicionamento da curva característica depende do TAP escolhido no autotransformador [3].

Essa partida é utilizada geralmente para motores acima de 15cv. A partida é feita em três etapas:

- 1- Na primeira etapa, o autotransformador é ligado primeiramente em estrela e em seguida o motor é ligado à rede por intermédio de uma parte dos enrolamentos do autotransformador. A partida é feita com uma tensão reduzida em função da relação de transformação. O autotransformador possui derivações que possibilitam escolher relação de transformação e a tensão reduzida mais apropriada.
- 2- Na segunda etapa, antes de passar a tensão plena, a ligação em estrela é aberta. Essa operação é realizada quando se atinge a velocidade de equilíbrio no final do primeiro período.
- 3- A ligação à plena tensão é feita após a segunda etapa, em que o autotransformador é desligado do circuito. A corrente e o conjugado de partida variam nas mesmas proporções e obtém-se a seguinte faixa de valores $I_p = 1,7$ a $4 I_n$.

Na figura 29 o gráfico ilustra o comportamento da corrente de partida da chave compensadora com relação a partida direta:

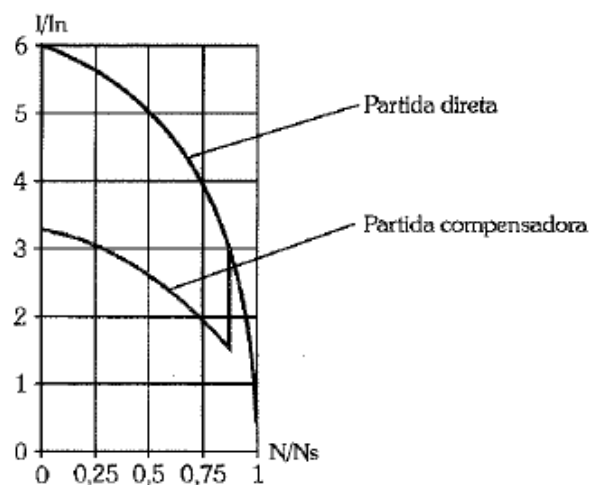


Figura 29. Corrente de Partida na Chave Compensadora.

Com relação ao conjugado teremos uma de partida 50 a 85% do conjugado nominal, dependendo do TAP a ser utilizado, como é ilustrado na figura 30.

TAP 65% - reduz para 42% o valor de partida direta.

TAP 85% - reduz para 64% o valor de partida direta [3].

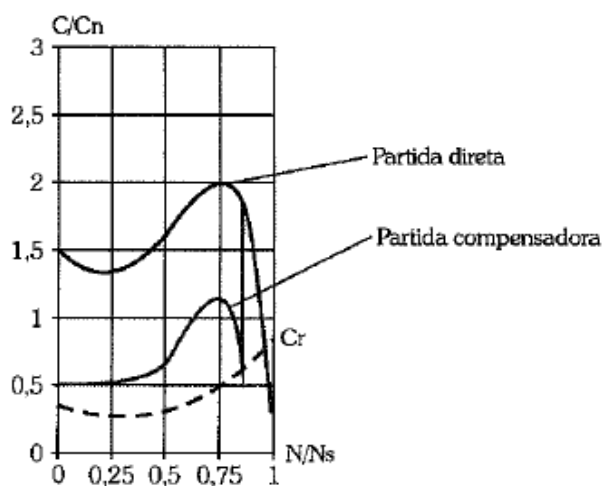


Figura 30. Conjugado de partida na Chave Compensadora.

4.4 Soft-Starters

As chaves de partida soft-starters são destinadas ao comando de motores de corrente contínua e corrente alternada, assegurando a aceleração e desaceleração progressiva e permitindo uma adaptação da velocidade as condições de operação.

A alimentação do motor, quando é colocado em funcionamento, é feita por aumento progressivo da tensão, o que permite uma partida sem golpes e reduz o pico de corrente. Isso é obtido por intermédio de um conversor com tiristores em antiparalelo, montados de dois a dois em cada fase da rede.

A subida progressiva da tensão pode ser controlada pela rampa de aceleração ou dependente do valor da corrente de limitação, ou ligada a esses dois parâmetros.

Assim, a soft-starter assegura:

- O controle das características de funcionamento, principalmente durante os períodos de partida e de parada;
- A proteção térmica do motor e do controlador;
- A proteção mecânica da máquina movimentada por supressão dos golpes e redução da corrente de partida.

As chaves de partida estáticas podem ser ajustadas no módulo de tensão, de forma a se ter uma tensão inicial de partida adequada, responsável pelo torque inicial que aciona a carga. Ao fazer o ajuste da tensão de partida num valor V_p e um tempo de partida T_p , a tensão cresce do valor de V_p até atingir a tensão de linha do sistema, em um intervalo de tempo T_p , também parametrizável, como na figura 31.

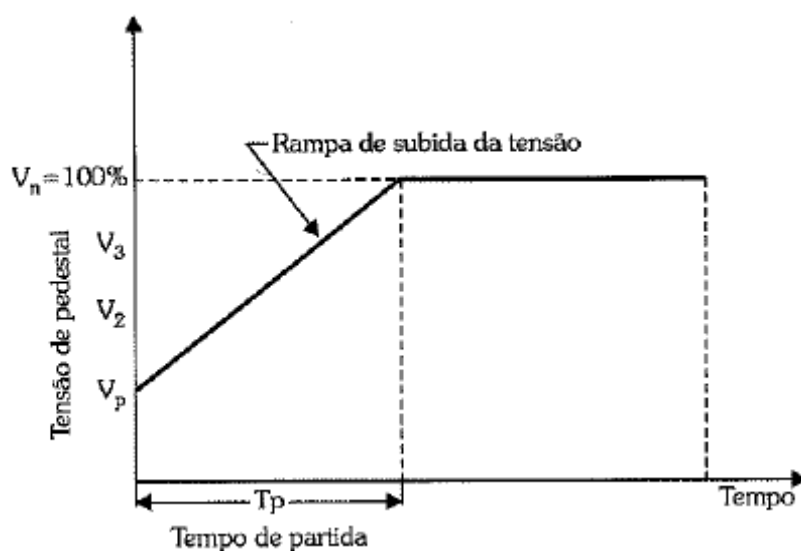


Figura 31. Rampa de Tensão na Aceleração.

Como resultado tem-se as seguintes curvas de corrente x velocidade angular (figura 32).

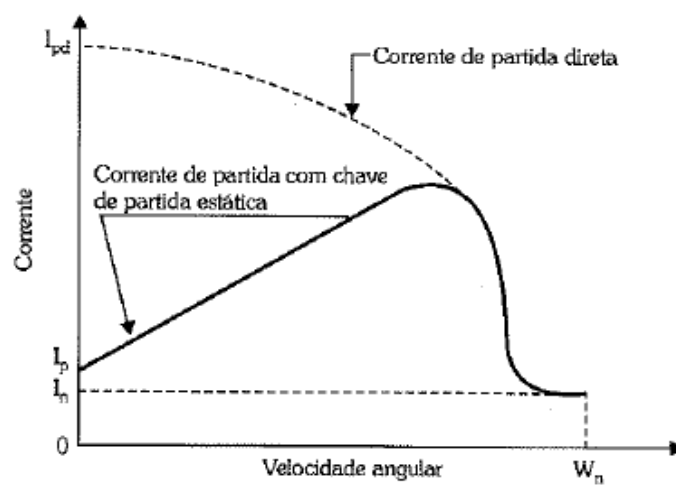


Figura 32. Corrente x Velocidade.

5 A NACIONALIZAÇÃO DO PAINEL *MOTORPACT*

A decisão de lançar um novo produto no mercado demanda, por parte da empresa, a escolha de alternativas para tal intento e análise das possíveis consequências em termos de competitividade em seu segmento de atuação. Dessa forma, ao buscar ampliar o seu composto de produtos e/ou serviços, a empresa deve considerar várias alternativas. Dentro deste contexto levantou-se a necessidade da nacionalização do painel *Motorpact* para partida de motores assíncrono não reversível a plena carga - FVNR já que se trata de um produto com grande aceitação no mercado [9].

As principais razões são: diminuição do lead time - tempo de entrega do produto, possibilidade de tornar-se uma “R.E.U”-distribuidora na América Latina, redução de custo e flexibilidade da cor do painel.

Com isso nesse capítulo trataremos das etapas para a nacionalização de acordo com o método de trabalho da Schneider Electric Brasil.

5.1 Etapas de Processo para Novos Produtos

Basicamente o processo de abertura para novos produtos se dá em cinco etapas desde a “abertura” do processo, onde são definidos os critérios e atividades, até o fechamento do processo, sendo:

- Fase de Seleção (Select);
- Fase de Pré-Implementação (Do);
- Fase de Implementação (Implement);
- Fase de Produção (Produce);
- Fase de Venda (Sell);

Na figura abaixo se tem um cronograma das etapas (Figura 33)



Figura 33. Cronograma das Etapas de Processo para Novos Produtos.

5.2 A abertura (Open)

Todo processo de nacionalização de um produto segue os critérios e supervisão da Matriz instalada na França. De início é realizada uma pesquisa de mercado, realizada pela equipe de Marketing, onde são avaliadas as necessidades dos clientes e então traçado um plano de viabilidade econômica.

5.3 Fase de Seleção (Select) – Pré-implementação (Do).

No Brasil, o painel *Motorpact* já era comercializado em nível-C, onde o painel é pré-fabricado nos EUA e importado, com isso, nesta etapa realizou-se um estudo do volume de vendas nacionais do produto para montar um “*Business Plan*” e apresentar para uma comissão formada pelos diretores franceses, brasileiros e americanos. Neste relatório são apresentados os benefícios econômicos que essa transferência de tecnologia irá proporcionar e analisar em quanto tempo a nacionalização do produto ira suprir o custo do projeto, chamado de “*Pay Back*” (a empresa trabalha com um *pay-back* de no máximo 3 anos). Neste estudo foi verificada uma redução de custo na ordem de 10% ,e tendo-se um volume de venda estimado em 300 colunas/ano chegou-se num “*Pay-Back*” de 1.6anos (aproximadamente um ano e seis meses) o que viabilizou o Brasil tornar-se nível-I (fabricação total do painel, desde a chaparia até a customização).

5.4 Pré-Implementação (Do) – Implementação (Implement)

O período de pré-implementação é onde ocorre à abertura do processo no país, nessa etapa é montada a equipe que cuidara da transferência de tecnologia. Depois de analisada a viabilidade, apresentado o “business plan” começa a parte de implementação. Esta é uma parte mais técnica, o marketing abre espaço para a área de padronização e transferência de tecnologia atuar. São enviados 2 engenheiros para o país onde o produto é fabricado em nível-I para acompanhar a montagem dos painéis e adquirir informações de equipamentos, ferramentaria, pontos críticos e seqüências da montagem. Nessa etapa os EUA fornecem os desenhos de montagens, especificação técnicas das peças, ferramentas, máquinas e equipamentos necessários, além de algumas amostras de parafusos, porcas, arruelas e outros tipos de fixadores. Com esse material em mãos, é feito um trabalho de pesquisa de

mercado nacional para procurar fornecedores de soluções com as mesmas características ou de soluções semelhantes, as quais devem ser previamente analisadas e reportadas ao país cede da tecnologia para aprovação. Pode nessa etapa estar junto aos fornecedores solicitando e analisando suas amostras e elaborando a documentação a ser enviada para os EUA.

Sendo aprovadas, é apresentado aos fornecedores um cronograma de entrega de amostras (Figura 34), sendo possível a entrega de 3 exemplos do produto fabricado para a homologação.

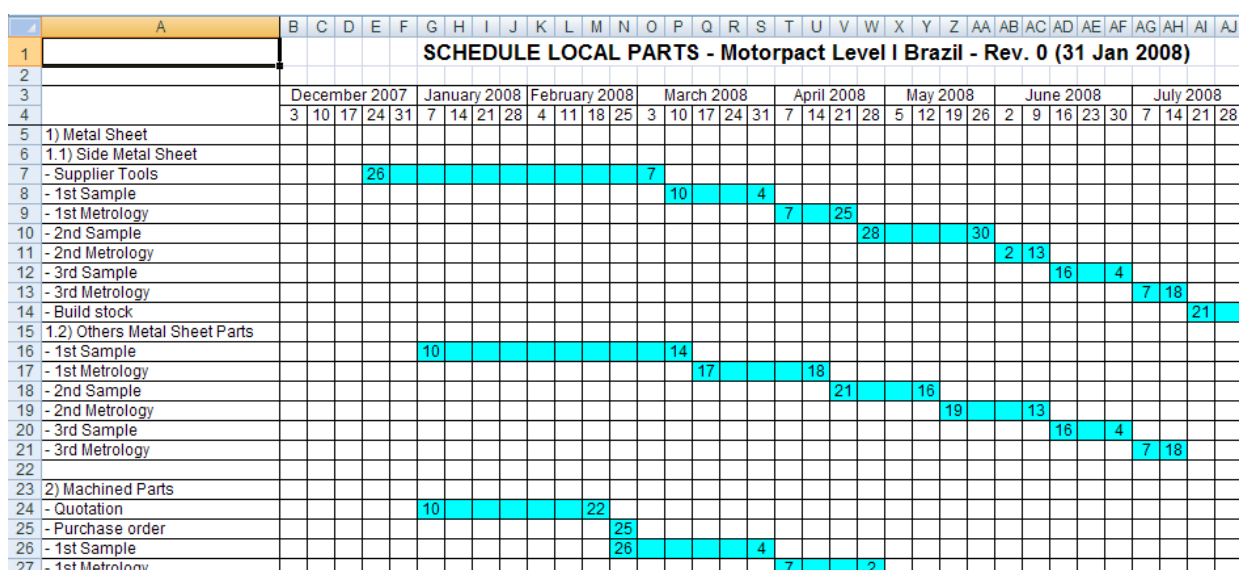


Figura 34. Cronograma de Amostras.

Produtos que não são possíveis a fabricação nacional, devido à falta de qualidade ou de ferramental para sua fabricação são importados.

Após essa etapa é feito o processo de cadastro e divulgação de todas as peças no sistema. Minha participação nessa etapa foi realizar todo o cadastro dos itens no sistema de comunicação interna da empresa (Baan). O software Baan é um ERP: um grupo integrado de ferramentas suportado por uma base de dados única, o que possibilita a integração de toda a informação, sem inconsistências e sem redundância. É constituído por múltiplos módulos (pacotes) que suportam as diversas atividades da empresa [10].

Nesse período monta-se um esquema inicial da linha de montagem do *Motorpact* (realizado pelo Método e Processos) a fim de visualizar como seriam os postos de trabalhos e onde ficariam as peças e instalação das estações pneumáticas.

Para início da montagem do 1º Protótipo (Figura 35) foi realizado 1 KAIZEN (ANEXO-A) de 3 dias onde pude dar apoio e orientação na montagem (através de uma documentação elaborada contendo todas as referências das peças com os respectivos desenhos de montagem) e na organização do F.I.T (Guia de montagem) para a produção.



Figura 35. 1º Protótipo Nacional – *Motorpact*.

Nessa etapa é analisado onde fica melhor deixar as peças, e qual o possível melhor layout da linha, para que possa ter uma redução no tempo de montagem (redução do tempo que não agrega valor ao produto) Nessa etapa são analisadas as dificuldades da montagem e são feitos os ajustes.

Nesse período também fui responsável por elaborar a árvore de escolha (sistema de escolha de opções utilizado pela empresa - ANEXO-B), onde temos as possibilidades de composição do painel e todas as peças para montagens de 1 cubículo (chamado de BOM - Bill of Material - de Engenharia).

5.5 Produção (Produce) - (Vendas) Sell

Depois de toda etapa de implementação, recebe-se a visita de dois auditores, para verificação da linha de montagem, processos, averiguação de peças críticas, visitas a fornecedores, a fim de se verificar os métodos para manter a qualidade do produto fornecido e acompanhamento da montagem completa de um painel, assim como, verificar todos os testes de tipo (Ensaio dielétricos e de comando) realizados na fábrica. Depois de tudo concluído é feito um relatório de homologação mostrando, tudo que foi avaliado e os pontos a serem melhorados.

5.6 Vendas (Sell)

Depois de o painel ser avaliado, caso seja aprovado e homologado, nessa etapa de vendas é realizada outra reunião com a presença dos mesmos diretores que participaram da reunião de abertura do projeto. É então traçado uma data limite para que o país que recebeu aprovação da produção em nível-I possa começar a comercializar o painel.

5.7 Vendas (Sell)-Fechamento (Close)

Nesse período, há um tempo de monitoração da matriz (França) onde são feitas pequenas correções e outros itens que possam estar faltando para assim fechar o processo de nacionalização.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho teve como principal objetivo aliar conceitos e teorias absorvidas durante todo o curso de graduação em Engenharia Elétrica (Sistemas de Energia e Automação) com a experiência adquirida no período de estágio na SCHNEIDER ELECTRIC BRASIL LTDA.

Teve como intuito fornecer uma base teórica sobre motores assíncronos e sobre tipos de chaves de partidas, além de mostrar o processo de padronização e transferência de tecnologia de uma empresa multinacional.

Nota-se que para uma empresa manter-se aquecida num mercado, cada vez mais competitivo, deve se manter sempre atenta no mercado consumidor e nas necessidades dos clientes.

A nacionalização desta gama de painéis de partida de motores a plena carga – *Motorpact* – foi uma transferência de tecnologia dos EUA para o Brasil, supervisionada pela França que ocorreu diante da possibilidade da redução de custo (na ordem de 10%) e visto que seu “Pay-Back” encontrava-se dentro do limite aceito pela empresa.

No que diz respeito aos resultados obtidos, o trabalho realizado pela equipe de padronização e todos envolvidos nessa nacionalização do painel, teve um grande reconhecimento dos auditores que constataram pequenas divergências na montagem do painel e de algumas peças, mas não impossibilitou a homologação. Com isso o Brasil passa para Nível- I na fabricação do *Motorpact* podendo começar a comercialização no início de 2009. E como plano futuro a empresa buscará tornar-se fornecedora do painel para toda a America Latina.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e possibilitaram a elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SCHNEIDER ELECTRIC. Catálogo - Partidas de motores de MT, Contatores a vácuo até 7,2 kV – *Motorpact*. 2007
- [2] SCHNEIDER ELECTRIC. Caderno Técnico: Electric Motors. Paris, 2004
- [3] FRANCHI, C. M. Acionamentos Elétricos. 4. ed. São Paulo: Érica. 2008.
- [4] LOBOSCO, O. S. e DIAS, J. L.P.C. Seleção e aplicação de Motores Elétricos. Vol - 1. São Paulo: McGraw-Hill: Siemens
- [5] ENGEL, Encontrado em :
(<http://www.grupozug.com.br/ENGEL/motor%20de%20inducaao%20monofasico.htm>).
- [6] WEG, Motores Elétricos Industriais. Encontrado em:
(<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores/Motores-Eletricos-Industriais>).
- [7] FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA, Departamento de Engenharia Eletrotécnica - automação industrial e robótica. Encontrado em:
(<http://www.cefetsc.edu.br/vnoll/Motores%20de%20Inducaao.htm>).
- [8] LOBOSCO, O. S. e DIAS, J. L.P.C. Seleção e aplicação de Motores Elétricos. Vol - 2. São Paulo: McGraw-Hill: Siemens
- [9] FAG, Faculdade Assis Gurgacz. Documento sobre “Processo de criação, desenvolvimento e lançamento de novos produtos”. 2000.
- [10] BAAN, definições. Encontrado em: (<http://paginas.fe.up.pt/gowwww/baan/baan.html>)

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

COTRIM, A. A. M. B. Instalações Elétricas. São Paulo: MacGraw-Hill, 2003.

CREDER, H. Instalações Elétricas. 14 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

FILHO, G. F. Motor de indução. São Paulo: Érica, 2000.

KOSOW, I. T. Máquinas Elétricas e Transformadores. 9. ed. Porto Alegre: Globo, 1993.

MAMEDE, J. F. Instalações Elétricas industriais. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

NETO, J. A. A. Comandos Elétricos. São Paulo: Eltec, 2002.

PFEIFFER, J. Manual de Máquinas Elétricas. São João de Meriti – RJ: Co-Edição CADTS/SACTES, 1991.

PFEIFFER, J. Manual dos Comandos Elétricos. São João de Meriti – RJ: Co-Edição CADTS/SACTES, 1993.

ROLDAN, J. Manual de Automação por Contatores. Curitiba: Hemus, 2002.

SIMONE, G. A. Máquinas de Indução Trifásicas. São Paulo: Érica, 2000.

SOUZA, G. T. Máquinas e Comandos Elétricos. Apostila: Curso técnico em Mecatronica. Escola Técnica Estadual Pedro Ferreira Alves. Mogi-Mirim – SP, 2004.

WEG. Catálogo de Motores Elétricos. Jaraguá do Sul – SC, 2005.

WEG. Comando e Proteção. Apostila: Centro de treinamento de clientes. Jaraguá do Sul – SC, 2005.

ANEXO A

Kaizen é uma palavra de origem japonesa com o significado de melhoria contínua, gradual, na vida em geral (pessoal, familiar, social e no trabalho).

Essa prática (exprimindo uma forte filosofia de vida oriental e sendo, por sua vez também, uma filosofia, uma cultura) visa o bem não somente da empresa como do homem que trabalha nela. As empresas são municiadas com ferramentas para se organizarem e buscarem sempre resultados melhores. Partindo do princípio de que o tempo é o melhor indicador isolado de competitividade, atua de forma ampla para reconhecer e eliminar os desperdícios existentes na empresa seja em processos produtivos já existentes ou em fase de projeto, produtos novos, manutenção de máquinas ou, ainda, processos administrativos. Para o Kaizen, é sempre possível fazer melhor, nenhum dia deve passar sem que alguma melhoria tenha sido implantada, seja ela na estrutura da empresa ou no indivíduo. Sua metodologia traz resultados concretos, tanto qualitativamente, quanto quantitativamente, em um curto espaço de tempo e a um baixo custo (que, conseqüentemente, aumenta a lucratividade), apoiados na sinergia gerada por uma equipe reunida para alcançar metas estabelecidas pela direção da empresa.

ANEXO-B

Árvore de Escolha (ADD - Arquitetura do Documento de Decisão) é uma ferramenta original, com comunicação eficiente, desenvolvida pela Schneider Electric. Com o ADD você tem uma ferramenta gráfica fazendo todas as perguntas necessárias (Figura 36) para escolher “corretamente” o produto. É uma representação gráfica que une as performances do produto às suas corretas referências para compra e fabricação.

- Seleções de UG são associadas com um BOM (Bill of Material) – o usuário refere-se então para o BOM adequado para uma lista de componentes que são necessários para fabricação de acordo com os desenhos fornecidos.
- Seleções de UV são associadas com os itens de catálogo que serão adquiridos da Schneider Electric local.

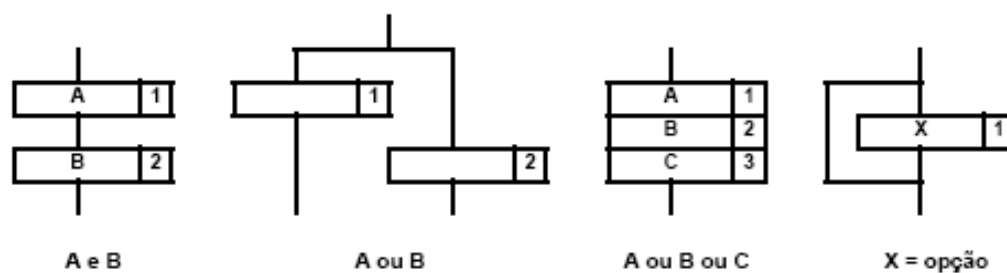


Figura 36. Blocos de Decisão

BLOCOS

Há vários tipos de blocos na ADD:

1. **Blocos das Unidades de Gerenciamento (UG)** – cada um tem um único número associado com o B.O.M. (Bill of Material) definindo todos os componentes necessários para fabricação.
2. **Informação do bloco** – este bloco não está associado a nenhuma parte e é usado somente para informação e ajudar na leitura da ADD.
3. **Bloco produto** – isto se refere ao usuário de outra ADD associada com a seleção escolhida.

