

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Renan Piazzon Peres**

**CONTROLE DA PRODUÇÃO EM UMA  
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA COM  
CCM INTELIGENTE**

**Taubaté – SP**

**2010**

**Renan Piazzon Peres**

**CONTROLE DE PRODUÇÃO EM UMA  
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA COM  
CCM INTELIGENTE**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica (Automação Industrial)

Orientador: Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas

Co-orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

**Taubaté – SP**

**2010**

Peres, Renan Piazzon.

P437c                    Controle da produção em uma indústria sucroalcooleira com CCM inteligente./ Renan Piazzon Peres. – Taubaté: Unitau, 2010.

108 f. :il;30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Wendell de Queiróz Lamas

1. Redes industriais. 2. CCM Inteligente. 3. Automação da produção. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD(21) 658.5

**RENAN PIAZZON PERES**

**CONTROLE DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA COM  
CCM INTELIGENTE**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica (Automação Industrial)

Orientador: Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas

Co-orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas                      Universidade de Taubaté

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa                      Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Valesca Alves Correa                      Universidade de Taubaté

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Carlos Frajuca                      Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo

Assinatura \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho primeiramente a minha esposa Regiane pelo incentivo, ao meu pai e mãe, Ademir e Ivone, pela educação a mim oferecida e a Deus que me iluminou neste caminho.

À Rockwell Automation por ter fornecido suporte e materiais complementares para os estudos realizados.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas, pela habilidade e dedicação demonstrada na orientação deste trabalho, sendo de extrema importância a sua contribuição.

Ao Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa, pela dedicação na co-orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes, pela experiência passada ao longo dos anos que trabalhamos em projetos e desenvolvimentos de painéis elétricos pela empresa Lavill Ltda.

À empresa Rockwell Automation que proporcionou os dados deste trabalho, acreditando nos resultados e nos benefícios que serão obtidos por meio da capacitação de seus empregados, como forma de potencializar resultados e manter interação sólida entre empresa e Universidade.

À usina Cabrera Energética que proporcionou os dados para o estudo de caso deste trabalho.

À Universidade de Taubaté, que cedeu os laboratórios e os materiais para os testes.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade”.

Albert Einstein

PERES, R. P. **Controle de produção de produção em uma indústria sucroalcooleira com CCM inteligente**. 2010. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar as características e conceitos da aplicação de centros de controle de motores inteligente, demonstrando as vantagens da utilização de rede industrial no controle da produção, especificamente o protocolo DeviceNet®, e reunir em um documento as informações sobre a utilização e aplicações de diferentes configurações de acionamento e comando de motores instalados em um CCM. Para isso, foram realizados estudos e simulações de acionamentos elétricos protegidos por relés de sobrecarga em diferentes configurações de ligações e tecnologias utilizadas em instalações elétricas industriais, alterando os equipamentos, montagens e sinais recebidos para comando e proteção das cargas, bem como, observando os dados referentes aos custos de engenharia, instalação e materiais. Para as quatro opções analisadas foram estimados os tempos de projeto, instalação e valores estimados dos produtos e serviços necessários, fornecendo uma tabela comparativa entre as opções estudadas, além de concluir que o uso de CCM inteligente conectado ao aplicativo de supervisão IntelliCENTER® se apresentou como a melhor solução, pois agrega as melhores características técnicas dos painéis elétricos, bem como a disponibilidade de monitoramento e controle da produção, com a utilização da rede DeviceNet®. Além dos valores envolvidos na aquisição e *startup*, também foram observados os possíveis ganhos operacionais do sistema inteligente, pois permite via sistema supervisor os diagnósticos instantâneos, alarmes e desligamentos que localizam os defeitos nos acionamentos controlados.

**Palavras-chave:** Automação da produção; CCM inteligente; Redes industriais.

PERES, R. P. **Manufacturing control in a sugar and alcohol plant with intelligent MCC**. 2010. 107p.. M.Sc. thesis (Master's Degree in Mechanical Engineering) – Department of Mechanical Engineering, University of Taubate, Taubate, Brazil.

### **ABSTRACT**

This work aims to present the intelligent motor control center characteristics and concepts by showing the advantages of the industrial network application in the manufacturing control, more specific the DeviceNet® protocol and gather in one document the information about the application and how to use different configurations of drivers and motor control installed in a MCC. In order to gather this information several studies and simulation were made by changing the equipment, assembling and signals in electric drivers protected by overload relays with different technologies and kind of connections used in industrial installations and comparing the engineering, assembling, and material costs. For the four analyzed options of drivers, the project development time, installation, product costs and necessary services were estimated showing a comparative table between options. This study will prove that the intelligent MCC connected to the IntelliCENTER® software is the best solution because uses the best technical solution and also have the ability to monitor and control manufacturing, using DeviceNet® network. Besides the acquisition and start up values it was also observed the operational benefits of the intelligent system, showing alarms, instantaneous diagnostics, and problems in the components of the controlled starter, by means supervisory system.

**Keywords:** Manufacturing automation; Intelligent MCC; Industrial Networks.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Estrutura geral de acionamento de motores.....	26
Figura 2	– Relé bimetálico convencional .....	27
Figura 3	– Relé de sobrecarga eletrônico (E1).....	27
Figura 4	– Relé de sobrecarga eletrônico com rede DeviceNet® (E3+).....	29
Figura 5	– CCM compartimentado com gavetas extraíveis.....	31
Figura 6	– Posições operacionais das gavetas extraíveis.....	32
Figura 7	– CCM não compartimentado com gavetas fixas .....	33
Figura 8	– Arquitetura de rede integrada .....	35
Figura 9	– Sala de painéis elétricos – CCMI recepção, preparo e extração	39
Figura 10	– Motores do setor picador / difusor .....	40
Figura 11	– Configuração de instalação de CCM convencional interligado via multicabos.....	43
Figura 12	– Mesa de comando e controle das moendas.....	44
Figura 13	– Diagrama funcional da configuração com CCM convencional....	45
Figura 14	– Configuração de instalação de CCM convencional com interligação via cabo de rede e acionamento com botões e sinaleiros.....	52
Figura 15	– Diagrama funcional da configuração com CCM convencional com interligação via cabo de rede e acionamento com botões e sinaleiros.....	54
Figura 16	– Configuração de instalação de CCM convencional com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM.....	61
Figura 17	– Diagrama funcional do CCM convencional com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM.....	63
Figura 18	– Configuração de instalação de CCM inteligente com IHM, interligação via rede .....	70
Figura 19	– Diagrama funcional da configuração com CCM inteligente com interligação via rede .....	72
Figura 20	– Vista frontal do CCM inteligente .....	81
Figura 21	– Vista frontal do CCM no intelliCENTER®.....	82

Figura 22	–	Configuração das entradas e saídas do rele inteligente .....	83
Figura 23	–	Detalhe de monitoramento da gaveta de acionamento .....	84
Figura 24	–	Documentação referente a gaveta do CCMI .....	85
Figura 25	–	Registro de eventos .....	85
Figura 26	–	Função ADR da rede DeviceNet® .....	86
Figura 27	–	Gráfico com os resultados unificados .....	92
Figura 28	–	Fluxograma da produção de açúcar e álcool .....	109
Figura 29	–	Interligação entre dispositivos da rede DeviceNet® .....	118
Figura 30	–	Relação entre CAN e DeviceNet® e as camadas do modelo OSI .....	119
Figura 31	–	CIP no modelo OSI .....	120
Figura 32	–	Frame de dados utilizado pela rede DeviceNet® .....	121
Figura 33	–	Seção vertical típica do CCMI .....	124
Figura 34	–	CCMI com duas redes diferentes .....	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Dados da produção de açúcar e álcool, ano base 2007.....	38
Tabela 2	– Dados estimados para produção na usina Cabrera no ano 2013.	38
Tabela 3	– Principais circuitos elétricos da usina .....	39
Tabela 4	– Acionamentos elétricos da usina Cabrera Energética .....	40
Tabela 5	– Interligação entre gaveta de acionamento do CCM e bornes.....	46
Tabela 6	– Interligação entre mesa de comando e bornes.....	46
Tabela 7	– Interligação em campo entre bornes da mesa de comando e CCM.....	47
Tabela 8	– Equipamento de automação.....	47
Tabela 9	– Valores dos materiais do CCM com fiação a botões .....	48
Tabela 10	Valores dos materiais da mesa de comando.....	49
Tabela 11	– Materiais para instalação em campo.....	50
Tabela 12	– Mão de obra utilizada na opção por CCM com fiação a botões....	51
Tabela 13	– Interligação entre gaveta de acionamento do CCM e bornes do <i>FLEX I/O</i> .....	55
Tabela 14	– Interligação entre mesa de comando e bornes do CLP.....	55
Tabela 15	– Interligação em campo entre <i>FLEX I/O</i> (CCM) e CLP (mesa de comando).....	56
Tabela 16	– Equipamento de automação: CLP e <i>FLEX I/O</i> .....	56
Tabela 17	– Valores de materiais do CCM com interligação via cabo de rede e acionamento com botões e sinaleiros.....	57
Tabela 18	– Valores de materiais da mesa de comando com interligação via cabo de rede e acionamento com botões e sinaleiros.....	58
Tabela 19	– Materiais para instalação em campo entre <i>FLEX I/O</i> (CCM) e CLP (mesa de comando) .....	59
Tabela 20	– Mão de obra utilizada na opção por CCM com rede até mesa de comando.....	60
Tabela 21	– Interligação entre gaveta de acionamento do CCM e bornes do <i>FLEX I/O</i> .....	64
Tabela 22	– Interligação entre mesa de comando e bornes do CLP.....	64

Tabela 23	– Interligação em campo entre <i>FLEX I/O</i> (CCM) e CLP (mesa de comando).....	65
Tabela 24	– <i>Equipamento</i> de automação: CLP, IHM e <i>FLEX I/O</i> .....	65
Tabela 25	– Valores de materiais do CCM com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM.....	66
Tabela 26	– Valores de materiais da e mesa de comando com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM.....	67
Tabela 27	– Materiais para instalação em campo entre <i>FLEX I/O</i> (CCM) e CLP (mesa de comando) .....	68
Tabela 28	– Mão de obra utilizada na opção por CCM com rede até mesa de comando com IHM .....	69
Tabela 29	– Interligação entre gaveta de acionamento do CCMI e bornes.....	73
Tabela 30	– Interligação entre mesa de comando e bornes do CLP.....	73
Tabela 31	– Interligação em campo entre CCMI e CLP (mesa de comando)..	74
Tabela 32	– <i>Equipamento</i> de automação: CLP, IHM e <i>FLEX I/O</i> .....	74
Tabela 33	– Valores de materiais do CCM inteligente com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM.....	75
Tabela 34	– Valores de materiais da mesa de comando com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM.....	76
Tabela 35	– Materiais para instalação em campo entre (CCM) e CLP (mesa de comando) .....	77
Tabela 36	– Mão de obra utilizada na opção por CCMI com rede até mesa de comando.....	78
Tabela 37	– Quadro de cargas do CCM inteligente.....	80
Tabela 38	– Tabela resumo de custos de engenharia.....	87
Tabela 39	– Tabela resumo de custos de instalação e montagem .....	88
Tabela 40	– Tabela resumo de custos de materiais .....	89
Tabela 41	– Tabela de referência e valores dos cursos dos equipamentos de automação .....	90
Tabela 42	– Tabela unificada com resumo de custos .....	91
Tabela 43	– Tabela de tempos para de normalização em caso de manutenção.....	98
Tabela 44	– Tabela resumo de custos de normalização em caso de	99

	manutenção .....	
Tabela 45	– Padrão arquivo EDS.....	122
Tabela 46	– Relação entre o comprimento do cabo e sua taxa de Transmissão .....	123
Tabela 47	– Especificações do software InteliCENTER® .....	125

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1 – Reação de Gay-Lussac .....	116
--	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADR	– <i>Auto Device Recovery</i>
CAN	– <i>Controller Area Network</i>
CAGED	– Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CBO	– Classificação Brasileira de Ocupações
CCM	– Centro de Controle de Motores
CCMI	– Centro de Controle de Motores inteligente
CIP	– <i>Commom Industrial Protocol</i>
CLP	– Controlador Lógico Programável
DCS	– <i>Distributed Control System</i> – Sistema de controle distribuído
DI	– <i>Digital Input</i> – Cartão de entrada digital do CLP
DO	– <i>Digital Output</i> – Cartão de saída digital do CLP
EDS	– <i>Eletronic Data Sheet</i>
ETA	– Estação de Tratamento de Afluentes
ETE	– Estação de Tratamento de Efluentes
IEEE	– <i>the Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IHM	– Interface Homem Máquina
ISO	– <i>the International Organization for Standardization</i>
MACID	– <i>Media Access Control Identifiers</i>
MTE	– Ministério do Trabalho e Emprego
NCS	– <i>Networked Control Systems</i>
PTC	– Sensor de temperatura para proteção de equipamentos
PROFIBUS	– <i>Process Field Bus</i>
SCADA	– Sistema supervisorio de controle e aquisição de dados
ODVA	– <i>Open DeviceNet® Vendor Association</i>
OSI	– <i>Open Systems Interconnection</i>
TC	– Transformador de corrente

## SUMÁRIO

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
1.1 Introdução	18
1.2 Revisão da literatura	21
1.3 Objetivos	23
1.4 Metodologia	24
2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	25
2.1 Conceitos de acionamento de motores	25
2.2 Centro de Controle de Motores (CCM)	29
2.3 Centro de Controle de Motores Inteligente (CCMI)	33
2.4 Produção de Açúcar e Alcool	35
2.4 A Usina Cabrera Energética	36
3 SISTEMAS PROPOSTOS	41
3.1 CCM convencional interligado por multicabos	42
3.2 CCM convencional interligado por cabo de rede com mesa de comando equipada com botoeiras	52
3.3 CCM convencional interligado por cabo de rede com mesa de comando equipada com IHM	61
3.4 CCM inteligente interligado por cabo de rede com mesa de comando equipada com IHM	70
3.5 Simulações	79
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	87
4.1 Resultados obtidos	87
4.2 Análise dos resultados	93
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
5.1 Conclusões	101
5.2 Sugestões de trabalhos futuros	102
REFERÊNCIAS	103
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	106

ANEXO 1 – PROCESSO PRODUTIVO DA FABRICAÇÃO DE AÇUCAR E ÁLCOOL	108
ANEXO 2 – REDE DEVICENET®	118

## CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1. INTRODUÇÃO

Para a alimentação de plantas industriais com grande quantidade de motores é utilizado um painel elétrico denominado CCM (centro de controle de motores) que possui características mecânicas e elétricas especiais, possibilitando o controle e acionamento de diversas cargas de maneira customizada, facilitando a manutenção com conjuntos extraíveis a quente (painel energizado) e comando automatizado via equipamentos conectados a redes industriais, provendo capacidade de controlar e gerenciar os acionamentos dos circuitos.

CCMs são painéis completos, montados e que acomodam dispositivos para proteção, seccionamento e manobra de cargas. Possuem uma função específica nos sistemas de distribuição de energia elétrica em unidades comerciais e industriais, que é capacitar essas unidades para melhor gerenciamento, operação e manutenção dos motores disponíveis pelo processo (WEG, 2008; ROCKWELL AUTOMATION, 2009; SIEMENS, 2009).

A característica principal de um CCM inteligente é que seus componentes principais (inversor, *soft-start* e relés inteligentes) podem comunicar em rede, enviando e recebendo dados para um controlador lógico programável (CLP), uma interface homem máquina (IHM) ou um sistema SCADA (*Supervisory, Control, and Data Acquisition*). Designa-se rede ao conjunto de equipamentos e aplicativos utilizados para propiciar o tráfego de informações entre os diversos níveis hierárquicos e participantes de um processo industrial (BLAIR et al., 2001).

Devido aos diversos recursos fornecidos por cada dispositivo conectado à rede, é possível receber antecipadamente um alarme de problemas potenciais, eliminar o desligamento desnecessário, isolar falhas de modo a reduzir o tempo de parada e distribuir ou equalizar as cargas enquanto o problema está sendo solucionado, além de reduzir os trabalhos de fiação, espaço físico e tempo de instalação.

O desenvolvimento dos produtos é constante, gerando aumento de fluxo de dados e alterando as características das limitações das redes de controle no ambiente industrial. Atualmente no mercado, existem três tecnologias de redes industriais com maior utilização: DeviceNet®, PROFIBUS® e MODBUS® (ROCKWELL AUTOMATION, 1999).

Devido à necessidade de supervisão, comando e controle com o menor número de equipamentos e conexões, surge o CCM inteligente, onde sua principal característica é a utilização do relé de proteção de estado sólido multifunção, substituindo o relé de proteção bimetálico de sobrecarga convencional, agregando em um único equipamento as funções de conexão à rede de comunicação e proteção do motor. Esse tipo de relé possui saídas já incorporadas, permitindo que ele faça o papel do cartão de saída do CLP (ROCKWELL AUTOMATION, 1999).

A capacidade de comunicação e supervisão via rede, presente nos dispositivos de partida do CCM inteligente, proporciona diversas vantagens permitindo: aperfeiçoar o processo, maximizar a produção e minimizar os riscos de operação. A facilidade de comunicação possibilita o gerenciamento de dados e a troca de informações sobre os acionamentos, recebendo alarmes e gráficos de tendência, além de confiabilidade do processo por meio da supervisão do seu comportamento. As informações podem estar presentes em uma IHM local ou em computador de supervisão remota (ROCKWELL AUTOMATION, 1999).

Junto ao desenvolvimento tecnológico que traz consigo dispositivos mais compactos, mais eficientes e de maior capacidade de trabalho, também devido à contribuição de novos modelos de programação adotados, a descentralização tem proporcionado um melhor compartilhamento de recursos e de informações por meio dos chamados sistemas distribuídos (KNIHS et al., 2000).

Um exemplo da eficiência que as redes de campo proporcionam para um melhor controle e supervisão da operação e manutenção de um processo é o setor de ustulação da Votorantim Metais, unidade de Juiz de Fora, onde adotou-se uma configuração baseada em um sistema de controle e supervisão unificados, permitindo a centralização do controle e manutenção, a facilidade e agilidade no diagnóstico de falhas no sistema, além de um histórico de dados de grande confiabilidade, proporcionando às equipes de operação e manutenção melhores condições para acompanhamento da produção e do funcionamento de seus ativos.

Esse fato foi comprovado pela redução do número de paradas na unidade e o aumento da confiabilidade do processo (LARA et al. , 2009).

O CCM inteligente, associado à instrumentação, CLP, SCADA, interligação remota e bancos de dados com os relatórios de processo, possibilita a melhoria no gerenciamento do processo e o aumento da qualidade dos mais variados processos produtivos, aumentando a confiabilidade e a precisão dos mesmos (DEUS et al., 2007; MEULENBROEK e FREEMAN, 2009).

As redes de comunicação de tempo real, também conhecidas por sistemas de controle via redes (NCS – *Networked Control Systems*), têm obtido cada vez mais espaço no meio industrial face à sua grande disponibilidade e ao baixo custo atual da tecnologia de redes, sendo amplamente utilizado para conexão de sensores, atuadores e controladores na implementação de sistemas de controle realimentado. Em certos processos, as características temporais dos sistemas de tempo real têm participação decisiva no desempenho do processo, assim a observação das características dos fluxos de mensagens suportados, tais como a sua periodicidade e o comprimento de mensagens relacionado, se fazem necessários. Assim sendo, torna-se interessante o cálculo do tempo de resposta das mensagens em um NCS para comparar a capacidade dessas redes de controle para satisfazer os requisitos da aplicação de controle suportada (SANTOS et al., 2003; DECOTIGNIE, 2009; VALENTIM et al., 2009).

O setor sucroalcooleiro tem paulatinamente investido em tecnologias para aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos produtos e aprimorar o reaproveitamento de resíduos. Nessa linha, a cogeração tem recebido grandes investimentos, incentivados pelo rápido retorno financeiro dos mesmos. Esses bons resultados foram incentivadores dos investimentos na automatização dos processos, particularmente no setor de utilidades, incluindo, assim, o acionamento e controle dos motores, onde as redes de campo e os CCMs inteligentes ganharam espaço (SIEMENS, 2008).

## 1.2. REVISÃO DA LITERATURA

Rockwell Automation (1999) apresentara os principais conceitos de CCM inteligente, destacando as características dos equipamentos desse fabricante de equipamentos de automação para redes de comunicação tipo *Remote I/O* e DeviceNet®

Knihs et al. (2000) apresentara os principais conceitos sobre as redes de comunicação, suas vantagens e principais características, destacando a utilização no ambiente industrial, principalmente no tocante às topologias e aos tipos de rede mais eficientes nesse ambiente, assim como a tendência de padronização.

Blair et al. (2001) apresentara as necessidades e os requisitos para cabeamento, características de dispositivos inteligentes e o aplicativo/programação requerido para integrar as novas tecnologias associadas aos sistemas de controle de motor. Também foram revistas discussões, mudanças filosóficas, vantagens e desvantagens da sua adoção, que foram observadas durante a instalação e a partida de um sistema na planta. Outro destaque fora a explanação a respeito do critério de seleção da rede de campo a ser adotada no projeto, comparação entre o sistema convencional e o inteligente.

Pieretti et al. (2003) apresentara os dados específicos sobre a cogeração em usinas do setor sucroalcooleiro, destacando informações como aumentos na produção, investimentos realizados e economia com utilidades.

Santos et al. (2003) apresentara os resultados obtidos com a implementação de um pequeno processo com NCS baseado nos protocolos CAN® e PROFIBUS® para comparação das propriedades temporais dessas redes para satisfazer os requisitos da aplicação de controle suportada.

Deus et al. (2007) apresentara a melhoria obtida no gerenciamento do processo e aumento da qualidade das bobinas de aço produzidas em forno de recozimento da empresa CSN, a partir da implantação de um sistema de controle automático dos ciclos térmicos desse equipamento, destacando a integração de um CCMI ao sistema. Por meio dessa implementação, comprovaram-se diversos benefícios como a otimização dos padrões operacionais, retorno financeiro e ganho pela redução nos desvios de qualidade.

Lavill (2008) apresentara os requisitos das normas de construção de painéis elétricos e CCM, com os modelos construtivos e necessidade específica de projetos.

Cosan (2008) apresentara o desempenho produtivo e financeiro do ano de 2007 para o grupo COSAN. As informações financeiras e produtivas das usinas, que são consideradas para a análise econômica deste trabalho, foram aqui apresentadas.

Siemens (2008) apresentara as tecnologias da fabricante disponibilizadas para interligação de redes, em todos os níveis, e suas aplicações no setor sucroalcooleiro.

Weg (2008) apresentara as características estruturais, como tipos de gabinetes, cabeamento e conexões.

Decotignie (2009) apresentara o potencial do protocolo Ethernet aplicado ao ambiente industrial. Diversos protocolos de comunicação utilizados como barramento de campo foram observados e tiveram suas características comparadas. O padrão IEEE 802.3 fôra considerado como referência nessas observações. Características técnicas, desempenho, problemas, evolução da tecnologia e funcionamento em tempo real foram relacionados nesse trabalho. Também foram discutidas as diferentes propostas e padronização para a Ethernet industrial.

Lara et al. (2009) apresentara a modernização do sistema de controle da planta de produção de zinco da Votorantim Metais, na unidade de Juiz de Fora. Buscaram uma solução para a migração dos painéis sinóticos até então adotados, que proporcionasse maior robustez e confiabilidade à planta, além da absorção de todas as unidades de aquisição de dados físicos existentes no campo.

Meulenbroek e Freeman (2009) apresentaram a evolução dos sistemas de distribuição de energia elétrica, destacando os CCM inteligentes e suas aplicações típicas em ambientes industriais, assim como alguns esquemas de ligações em rede e particularmente salientando a presença de DCS / SCADA para gerenciamento da planta. Também foram mencionadas as vantagens e desvantagens da utilização de CCM inteligente, em termos técnicos e econômicos, em comparação ao CCM convencional.

O guia de seleção de CCM da Rockwell Automation (2009) apresentara as características estruturais, como tipos de gabinetes, cabeamento, conexões etc. A tecnologia envolvida na linha IntelliCENTER® destacara sua capacidade de

conectividade por meio de protocolo de rede de campo DeviceNet® e sua facilidade de programação.

Siemens (2009) apresentara a linha SIPLUX® de painéis de baixa tensão, apropriados para utilização com CCM inteligente. Foram destacadas as características estruturais físicas dos painéis, sua capacidade de modularidade, tipo CCM extraível, a estrutura de cabeamento, o sistema de proteção para os motores conectados ao CCM e sua capacidade de conexão por meio de protocolo de comunicação PROFIBUS®.

Valentim et al. (2009) apresentara uma metodologia para análise dos tempos de resposta dentro de uma rede de controle multiciclos. O caso teste apresentado fôra modelado com o objetivo de verificar o determinismo do protocolo quando submetido a um ambiente onde existam várias requisições de serviço executando seus ciclos temporais em paralelo com as mensagens de tempo real.

Cabrera (2010) apresentara as informações produtivas e investimentos financeiros da Usina Cabrera Energética, que é a base para a análise técnica e econômica deste trabalho.

Caged/Mte (2010) relacionara uma lista atualizada contendo as profissões exercidas no Estado de São Paulo, devidamente catalogadas e identificadas por um código adotado para cada uma, segundo seus próprios critérios, assim como os salários praticados para as mesmas.

Cosan (2010) apresentara os principais valores ligados à produção de etanol pela indústria sucroalcooleira e avaliara qual o seu impacto na matriz energética brasileira.

Unica (2010) apresentara informações do mercado brasileiro e internacional do açúcar e do etanol, dados da produção, investimentos no setor e dados econômicos.

### 1.3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um estudo com as características e conceitos da aplicação de CCM inteligente e demonstrar as vantagens da utilização de rede industrial no controle da produção, especificamente o protocolo

DeviceNet®, responsável por interligar os dispositivos de campo aos níveis de comunicação superiores.

O objetivo específico é apresentar um estudo de caso com as comparações entre as aplicações de diferentes configurações de acionamentos instalados em um processo produtivo alimentado por centro de controle de motores, destacando para cada caso elaborado as suas características técnicas, os investimentos necessários e seu impacto na produção.

#### 1.4. METODOLOGIA

Serão relacionados cenários com diferentes tecnologias e conceitos para o comando e supervisão de um processo produtivo, comparando-os por meio da análise de investimento necessário para colocar em operação cada cenário estabelecido, sendo observados os recursos de controle de produção e manutenção disponibilizados para cada opção estudada.

No capítulo dois, o processo objeto deste estudo é detalhado, com especial atenção para as tecnologias e características de acionamentos de motores e CCMs, inclusive os CCMs inteligentes. As principais características da rede DeviceNet®, particularmente aplicadas ao processo em questão, também são apresentadas, assim como dados produtivos e financeiros da usina Cabreira Energética.

No capítulo três é realizado o estudo dos sistemas propostos, onde as tecnologias escolhidas, a partir do que normalmente é aplicado nas indústrias do ramo, são descritas e analisadas, com base na sua aplicação às características básicas adotadas e descritas em seu início.

No capítulo quatro são descritos os resultados obtidos, por meio da comparação dos resultados de cada opção elaborada, técnico-financeiro, além da avaliação de um caso específico, também hipotético, porém igualmente baseado em relatos de defeitos que ocorrem nas indústrias do setor sucroalcooleiro.

O capítulo cinco relaciona as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DO PROCESSO

### 2.1 CONCEITOS DE ACIONAMENTOS DE MOTORES

Os circuitos elétricos necessitam de dispositivos de proteção e comandos que são instalados em invólucros popularmente conhecidos como painéis elétricos.

Visando padronizar as exigências elétricas e mecânicas, a norma NBR IEC 60439-1 estabelece os critérios de montagem, testes e classificação dos modelos dos equipamentos utilizados e definindo o painel elétrico como conjunto de manobra e comando de baixa tensão: Combinação de equipamentos de manobra, controle, medição, sinalização, proteção, regulação, etc., em baixa tensão, completamente montados, com todas as interconexões internas elétricas e estrutura mecânica (ABNT, 2003).

Além dos requisitos estabelecidos pela norma NRB IEC 60439-1, o projeto deve atender os critérios estabelecidos por outras normas de instalações, dentre elas: NBR 5410, instalações elétricas de baixa tensão; NR 10, segurança em instalações e serviços em eletricidade; e IEC 60947, dispositivos elétricos.

O acionamento elétrico normalmente é utilizado para partida de motores e o mesmo deve possuir dispositivos de proteção contra curto circuito, sobrecarga e possibilitar o comando local ou externo, bem como o seccionamento da energia para poder realização de manutenções periódicas. A Figura 1 ilustra um exemplo de estrutura geral adotada para o acionamento de motores.

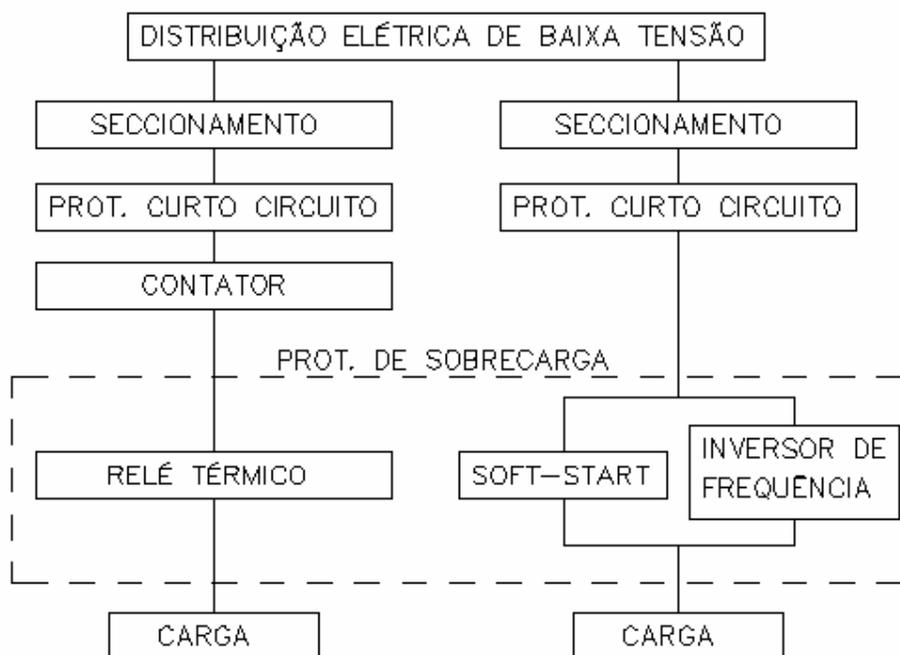


Figura 1 – Estrutura geral de acionamento de motores.

O acionamento elétrico mais utilizado é do tipo partida direta, que possui em seu circuito um dispositivo denominado relé térmico, responsável pela proteção de sobrecarga dos motores. Essa proteção é acionada a partir de uma curva de comportamento retardado, simulando a mesma sobrecarga admitida nos motores antes de gerar problemas funcionais.

No mercado existem diversos dispositivos com tecnologias diferentes, que possuem recursos e funções de proteção adicionais e dentre os relés de sobrecarga pode-se destacar três modelos: relé bimetálico, relé de sobrecarga eletrônico (E1) e relé de sobrecarga eletrônico com rede DeviceNet® (E3+).

O relé bimetálico convencional, ilustrado na Figura 2, oferece as funções:

- contatos para circuitos de controle (NA/NF);
- botão para *reset*;
- seleção de *reset*: manual/automática;
- sensível a perda de fase.



Figura 2 – Relé bimetálico convencional (cortesia: Rockwell Automation)

O relé de sobrecarga eletrônico (E1), ilustrado na Figura 3, oferece ao motor as mesmas proteções do relé bimetálico convencional, porém com melhor sensibilidade e funções melhoradas. Suas principais características são:

- contatos para circuitos de controle (NA/NF);
- botão para *reset*;
- seleção de *reset*: manual/automática;
- sensível a perda de fase;
- compensação da temperatura ambiente;
- componentes de estado sólido, maior precisão e confiabilidade;
- circuito térmico de memória, aprimorando o modelo térmico;
- baixo consumo de energia ( $\frac{1}{4}$  do consumo do relé bimetálico);
- ampla faixa de ajuste (um dispositivo eletrônico cobre a faixa de quatro relés de sobrecarga bimetálico);
- proteção contra perda de fase (três segundos = dez vezes mais rápido que o relé bimetálico);
- classe de desarme regulável (10A/15A/20A/30A).



Figura 3 – Relé de sobrecarga eletrônico (E1) (cortesia: Rockwell Automation)

O relé de sobrecarga eletrônico com rede DeviceNet® (E3+), ilustrado na Figura 4, oferece ao motor as mesmas proteções do relé de sobrecarga eletrônico (E1), porém com funções melhoradas e supervisão realizada via comunicação da rede DeviceNet®. Suas principais características são:

- proteção contra sobrecarga térmica;
- proteção contra perda de fase;
- proteção contra rotor bloqueado;
- proteção contra travamento de eixo;
- proteção contra sub-carga térmica;
- proteção contra desbalanceamento de corrente;
- proteção contra fuga terra;
- leitor de PTC, podendo monitorar a temperatura com sensor instalado fisicamente no motor;
- seleção de *reset*: manual/automática;
- classe de desarme regulável de 5A a 30A com incrementos unitários;
- monitoração de corrente por fase;
- monitoração de corrente individual por fase em porcentagem;
- monitoração de corrente média;
- monitoração de corrente média em porcentagem;
- monitoração de capacidade térmica utilizada;
- monitoração de corrente de fuga à terra;
- monitoração de porcentagem de desbalanceamento de corrente;
- quatro entradas digitais configuráveis (24 V<sub>CC</sub>), sinalizadas via led;
- duas saídas a relé (configuráveis), sinalizadas via led;
- uma saída de *trip* a relé (configurável), sinalizada via led;
- indicação de funcionamento da rede, sinalizada via led;
- circuito incorporado permite um comando de *reset* por rede;
- funções de alarmes com ajustes independentes da proteção;
- comunicação em DeviceNet®;
- circuito incorporado que permite o comando de *reset* por rede;
- diagnóstico via palavra de *status* do dispositivo;
- diagnóstico via palavra com *status* de desarme (15 variáveis);
- diagnóstico via palavra com *status* de alarme (15 variáveis);

- diagnóstico de tempo estimado para um desarme por sobrecarga;
- diagnóstico de tempo para rearme após uma sobrecarga;
- histórico das últimas cinco falhas.

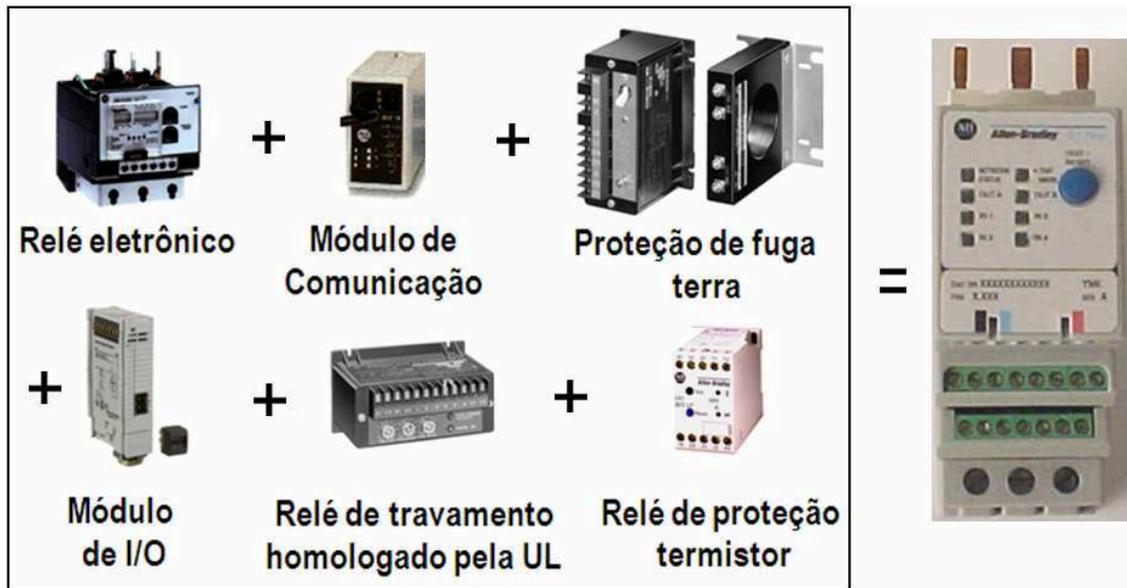


Figura 4 - Relé de sobrecarga eletrônico com rede DeviceNet® (E3+) (cortesia: Rockwell Automation)

## 2.2 CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES (CCM)

CCMs são painéis elétricos completos que acomodam equipamentos para proteção, seccionamento e manobra de cargas. Tem uma função específica nos sistemas de distribuição de energia elétrica em unidades comerciais e industriais. São os painéis onde estão conectados os cabos provenientes das cargas. Apesar de aproximadamente 85% das cargas industriais serem motores (motivo do nome Centro de Controle de Motores), o termo carga é abrangente, podendo significar qualquer equipamento que consuma energia elétrica, como estufas, resistores, etc. (LAVILL, 2004).

A utilização do CCM é destinada a instalações industriais que apresentam:

- grande número de cargas comandadas;
- necessidade de máxima continuidade de operação;
- segurança do operador na operação, supervisão e manutenção;

- instalação centralizada para facilitar a operação e manutenção;
- elevada compactação, possibilitando a redução de área necessária.

O CCM possui características mecânicas de separação, de acordo com suas divisões internas, sendo classificadas as unidades de construção do conjunto (ABNT, 2003).

- seção: unidade entre duas separações verticais sucessivas;
- subseção: unidade entre duas separações horizontais sucessivas em uma seção;
- compartimento: seção ou subseção fechada (com aberturas necessárias para interconexão, controle ou ventilação).

Os CCMs são montados em duas configurações de isolamento entre as unidades funcionais, podendo ser compartimentados ou não.

No CCM compartimentado, os equipamentos de proteção e manobra de cada carga estão montados em compartimentos isolados por barreiras mecânicas, restringindo que possíveis problemas possam afetar as demais unidades funcionais, conforme ilustrado na Figura 5. Nesse modelo compartimentado, as unidades funcionais podem ser montadas em estruturas removíveis denominadas gavetas, que podem ser extraídas do CCM com o mesmo em funcionamento, ou com montagem em placas de montagem fixas.



Figura 5 – CCM compartimentado com gavetas extraíveis (cortesia: Rockwell Automation)

Os conjuntos extraíveis apresentam características de retirada dos módulos de uma forma segura e sem a necessidade de ferramenta. Essa funcionalidade facilita os trabalhos de manutenção, reduzindo os tempos de parada, pois as operações de extração e inserção das gavetas ocorrem com o CCM energizado, limitando a desconexão de energia a apenas aquele ramal que necessita de uma intervenção.

As gavetas extraíveis apresentam as seguintes características:

- modularidade do sistema, permitindo ampliação;
- manutenção fácil e rápida;
- intercambiabilidade funcional, permitindo uso de gavetas reservas;
- elevada segurança, pois permite a manutenção em setores isolados sem o desligamento dos demais circuitos.

As gavetas extraíveis possuem quatro posições de operação, que são utilizadas em diferentes etapas da operação e manutenção dos circuitos, conforme

ilustrado na Figura 6, sendo as conexões elétricas dispostas de acordo com as posições de operação (ROCKWELL, 2009):

- conectada – linha, carga, controle, rede e terra estão conectadas;
- teste – controle, rede e terra estão conectadas;
- desconectada – sem conexão elétrica;
- retirada – sem unidade funcional.



Figura 6 – Posições operacionais das gavetas extraíveis (cortesia: Rockwell Automation)

Como opção ao CCM compartimentado, existe o modelo não compartimentado que apresenta a montagem em placas fixas, com os conjuntos funcionais instalados sem separação mecânica, conforme ilustrado na Figura 7.

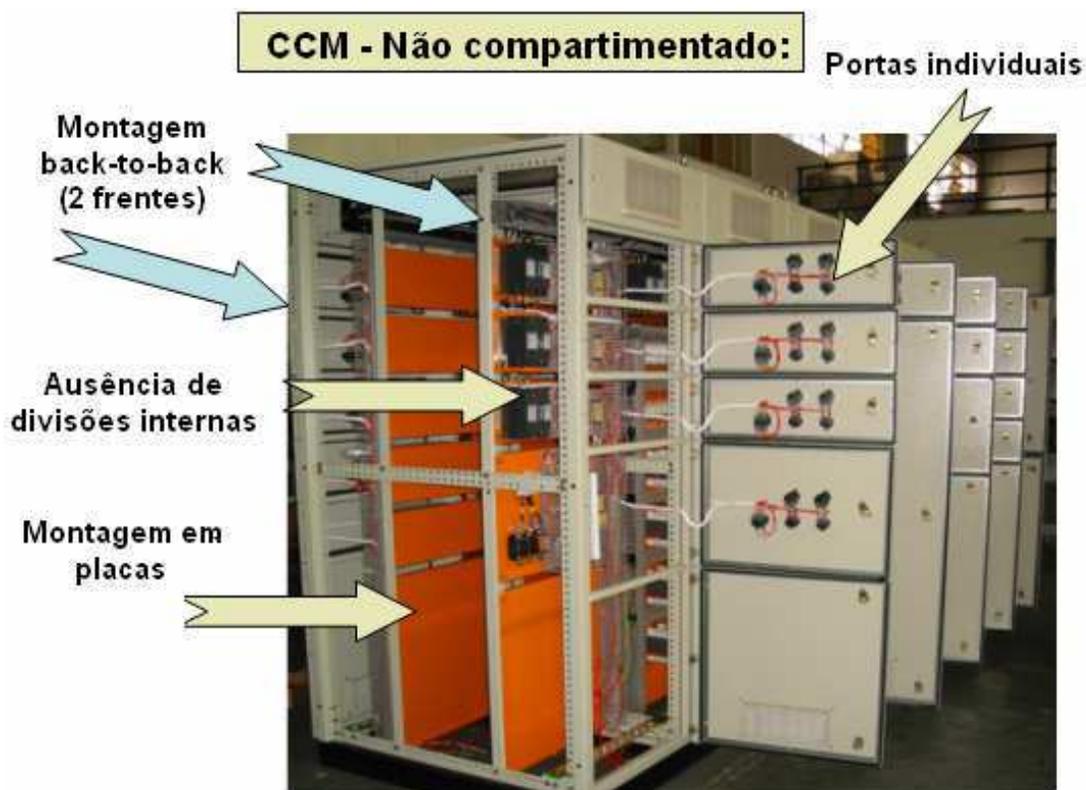


Figura 7 – CCM não compartimentado com gavetas fixas (cortesia: Lavill)

### 2.3 CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES INTELIGENTE (CCMI)

A característica principal de um CCMI é que seus componentes principais (inversor, *soft-start* e relés inteligentes) podem comunicar em rede, enviando e recebendo dados para um controlador lógico programável (CLP), uma interface homem máquina (IHM) ou um sistema SCADA (*Supervisory, Control, and Data Acquisition*). Designa-se rede ao conjunto de equipamentos e aplicativos utilizados para propiciar o tráfego de informações entre os diversos níveis hierárquicos e participantes de um processo industrial (BLAIR et al., 2001).

A utilização de redes de comunicação industrial com CCMI é uma solução que possibilita o monitoramento e controle da produção, reduzindo o tempo de parada de horas para minutos, com diagnósticos completos que localizam com precisão os pontos problemáticos, auxiliando a manutenção a programar e executar correções pontuais.

Em conjunto com o CCMI é fornecido um programa aplicativo denominado IntelliCENTER®, utilizado para o monitoramento dos dados gerados pelos equipamentos instalados no mesmo, sendo suas principais características (ROCKWELL, 2009):

- *plug and play*, com fácil acesso aos dados de configuração;
- disponibiliza um prontuário técnico eletrônico, de acordo com as novas recomendações da norma NR10 contendo: manuais dos equipamentos, diagramas elétricos e lista de materiais;
- registro de eventos, fornecendo os horários e condições de possíveis problemas intermitentes;
- supervisão do sistema elétrico em funcionamento sem a necessidade de acesso físico eliminando o uso de trajes especiais.

A tecnologia da informação tem sido determinante no desenvolvimento da tecnologia da automação, definindo hierarquias e estruturas de aplicação ao ambiente industrial nos seus mais diversos setores, desde as indústrias de processo e manufatura até aos sistemas logísticos. Para escolha de uma rede industrial, deve-se observar os requisitos: determinismo, flexibilidade, custo efetivo, confiança, segurança, facilidade de uso, protocolo aberto e padronizado.

Para permitir o tráfego de informações entre os níveis hierárquicos, as redes devem possuir uma estrutura baseada em objetos e conexões entre eles, conforme o modelo baseado no padrão CIP (*Commom Industrial Protocol*), ilustrado na Figura 8.

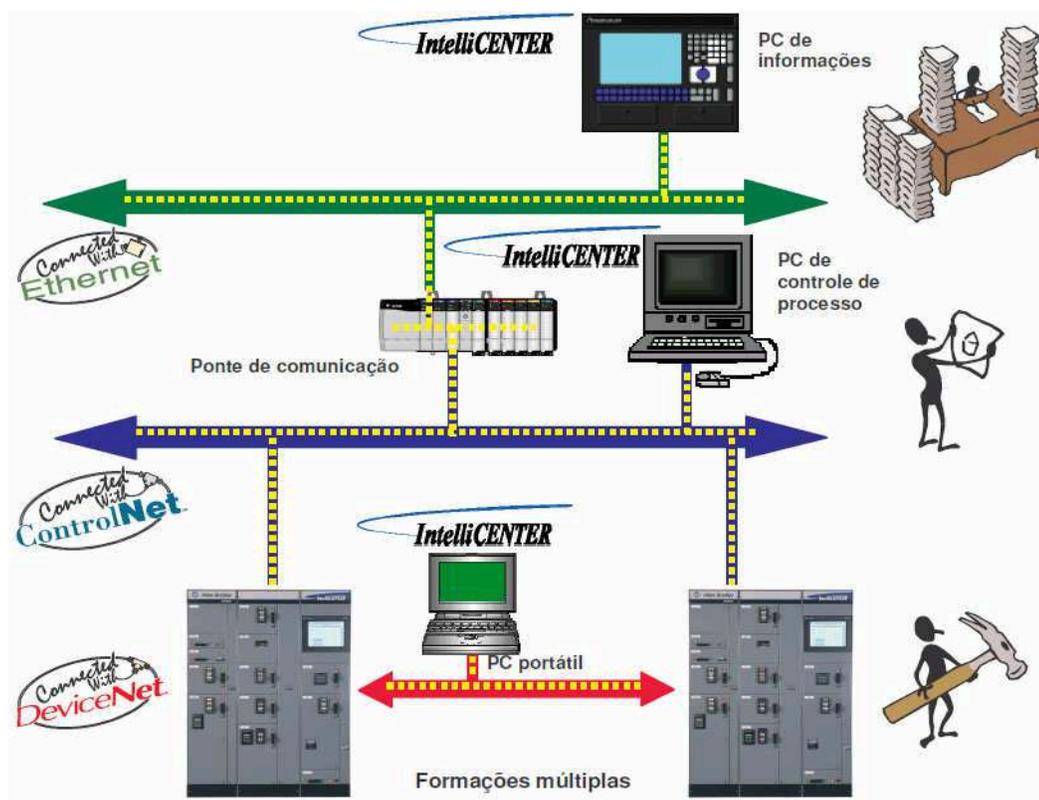


Figura 8 – Arquitetura de rede integrada (cortesia: Rockwell Automation)

## 2.4 PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

O vasto território do Brasil e seu clima favorável possibilitam uma grande oferta de terras disponíveis para a produção de cana-de-açúcar. Atualmente 8,8% das terras agricultáveis do Brasil, ou 7,9 milhões de hectares, são usados na produção de cana-de-açúcar, sendo o maior produtor do mundo, tendo produzido mais de 568 milhões de toneladas ou 33% da produção mundial na safra 2008/09. O Brasil é um dos maiores consumidores de açúcar, aproximadamente 12,4 milhões de toneladas na safra 2008/09 (UNICA, 2010).

O uso de etanol como combustível no Brasil atingiu 13,4 milhões de m<sup>3</sup> em 2006, sendo cerca de 40% do combustível usado em motores automotivos (ciclo Otto). A agroindústria da cana gerou, também, 11,3 TWh de energia elétrica e mecânica em acionamentos, na maioria para uso próprio, o que equivale a 3% de

toda a energia elétrica consumida no país. O uso do bagaço como combustível foi de 20,2 Mtep (mega toneladas equivalentes de petróleo) (COSAN, 2010).

Em 2000, foi estimado que com a implementação adicional de tecnologias já comerciais poderia resultar em reduções de até 13% em custos de produção no Centro-Sul. Os processos novos incluem a agricultura de precisão; sistemas integrados de colheita e transporte de cana e palha; maior automação industrial e novos processos de separação (caldo e processamento final) (PIERETTI et al., 2003).

Como opção de matriz energética, existe um ganho potencial na produção de energia da biomassa da cana, pois a energia em uma tonelada métrica de cana, adicionando a palha, é equivalente a 2/3 da energia em um barril de petróleo. Essa biomassa pode ser recuperada a custos relativamente baixos e menos da metade é usada hoje. Tecnologias disponíveis podem gerar energia elétrica adicional, correspondente a 30% a mais do valor de venda do açúcar e do etanol, com bagaço e 50% da palha (PIERETTI et al., 2003).

Devido a essa projeção de aumento da utilização da automação industrial nos processos da indústria sucroalcooleira, foi realizado o estudo de caso em uma usina indicada com referência no setor, comparando as aplicações de diferentes configurações de acionamentos instalados em um processo produtivo.

## 2.5 A USINA CABRERA ENERGÉTICA

O grupo Cabrera, com tradição de mais de 100 anos na atividade agrícola e pecuária, atua em nove estados brasileiros e sempre buscou inovações tecnológicas para cumprir da melhor maneira possível o seu principal objetivo: produzir alimentos (CABRERA ENERGÉTICA, 2010).

O grupo Cabrera diversificou suas atividades e ingressou no setor sucroalcooleiro com a instalação de uma usina de açúcar na região do triângulo mineiro. O protocolo de intenções foi assinado com o Governado do Estado de Minas Gerais e estão na fase final da licença de instalação(CABRERA ENERGÉTICA, 2010).

O investimento inicial foi de cerca de R\$ 143.000.000,00, com previsão de início de moagem para o ano de 2009. No primeiro ano a intenção é moer 800 mil toneladas em terra própria e em finalizar o empreendimento com 3 milhões de toneladas de cana. Para atender a esse objetivo, a companhia cultiva, colhe e processa a cana-de-açúcar, principal matéria-prima utilizada na produção de açúcar e álcool. Os canteiros de mudas contam com cerca de 1.000 hectares de cana-de-açúcar (CABRERA ENERGÉTICA, 2010).

A Cabrera Energética tem pautado as suas ações com a maior responsabilidade social e ambiental, procurando fazer de Limeira do Oeste, situada em Minas Gerais, um sustentável pólo produtor de açúcar e álcool, sendo estimada a geração de até 1.500 empregos diretos (CABRERA ENERGÉTICA, 2010).

O período de safra é de 180 a 210 dias de produção, de acordo com os dias de chuva. Para a safra do ano de 2010, a previsão é de 5.000 t/dia em 160 dias de produção. As conversões estimadas de cada tonelada de cana para etanol ou açúcar são:

- 1 tonelada de cana = 85 litros de etanol hidratado;
- 1 tonelada de cana = 120 kg de açúcar (a usina ainda não produz açúcar, sendo prevista a fabricação de 25.000 sacas (1.250 t) por dia em 2013);
- 1 tonelada de cana = 250 kg de bagaço (combustível para a geração de vapor na caldeira e cogeração de energia).

A cogeração de energia também é considerada como produto final do processo, sendo utilizado atualmente 9 MWh para consumo próprio da usina, e previsão para exportar energia (venda para concessionárias de energia) de 50 MWh em 2013/2014.

A Tabela 1 relaciona os dados da produção de açúcar e de etanol obtidos da carta financeira trimestral da COSAN, ano base 2007 (COSAN, 2008). Considerando a semelhança entre essa usina e a Cabrera Energética, tais valores serão utilizados como referência de preço e custo médio da produção sucroalcooleira da usina Cabrera Energética.

Tabela 1 – Dados da produção de açúcar e álcool, ano base 2007

Descrição	Açúcar	Etanol
	(R\$/t)	(R\$/mil litros)
Preço médio unitário	683	897
Custo médio unitário	433	674
Despesas administrativas gerais	85	108
Ganho por unidade	165	115

Para estimar os ganhos operacionais, segue simulação de 200 dias de produção, processando 3.000.000 toneladas de cana, o correspondente a 15.000 t/dia, produzindo, 1.250 t de açúcar, 625.000 l de etanol e 50 MWh de energia, conforme relacionado na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados estimados para produção na usina Cabrera no ano 2013

Descrição	Açúcar	Etanol	Energia
Ganho por unidade	165,00 R\$/t	115,00 R\$/mil litros	154,18 R\$/MWh
Produção por dia	1.250 t	625.000 l	50 MWh
Receita por dia	R\$ 206.250,00	R\$ 71.875,00	R\$7.709,00
<b>Receita por hora</b>	<b>R\$ 8.593,75</b>	<b>R\$ 2.994,79</b>	<b>R\$ 321,20</b>
<b>Receita total por dia</b>		<b>R\$ 285.809,00</b>	
<b>Receita total por hora</b>		<b>R\$ 11.909,74</b>	

As instalações elétricas da usina Cabrera possuem um sistema de quatro níveis de tensões de funcionamento:

- 138 kV<sub>CA</sub> – interligação com a CEMIG;
- 13,8 kV<sub>CA</sub> – distribuição elétrica dos alimentadores;
- 440 V<sub>CA</sub> – alimentação dos circuitos motores;
- 220 V<sub>CA</sub> – alimentação dos circuitos administrativos.

Após a cabine de medição e proteção (138 kV<sub>CA</sub>), a energia é rebaixada por transformadores e ligada a um barramento de distribuição (13,8 kV<sub>CA</sub>), responsável pela alimentação dos demais circuitos compostos de transformadores, CCMI e painéis de distribuição. A unidade possui 14 circuitos principais de distribuição, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais circuitos elétricos da usina

<b>Circuito</b>	<b>Descrição</b>
1	CCMI da caldeira
2	CCMI da concentração de caldo
3	CCMI do sistema hídrico.
4	CCMI do transporte de bagaço, ETE e ETA
5	CCMI dos produtos químicos, fermentação e destilaria
6	CCMI da recepção, preparo e extração
7	CCMI da vinhaça
8	CCMI do picador, desfibrador
9	Serviços auxiliares
10	Iluminação
11	Adutora
12	Administrativo
13	Oficinas
14	Casa de força (geradores)

Os painéis elétricos e CCMI são distribuídos em sala de painéis elétricos, próximas às unidades funcionais a serem alimentadas, conforme ilustrado nas Figuras 9 e 10.



Figura 9 – Sala de painéis elétricos – CCMI recepção, preparo e extração (cortesia: Cabrera Energética)



Figura 10 – Motores do setor picador / difusor (cortesia: Cabrera Energética)

O processo produtivo é composto por aproximadamente 285 acionamentos, sendo os mesmos de diferentes potências e modelos, classificados como partida direta, *soft-start* e inversores de frequência, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Acionamentos elétricos da usina Cabrera Energética

Tipo de partida	Potência (CV)					Total
	0,25 a 5	6 a 15	20 a 50	60 a 175	400	
Direta	79	48	33	11	4	175
<i>Soft-start</i>			21	40	3	64
Inversor de frequência	24		2	20		46
<b>Total de acionamentos elétricos</b>						<b>285</b>

## CAPÍTULO 3 – SISTEMAS PROPOSTOS

Os estudos foram realizados em diferentes configurações de montagens elétricas utilizadas em CCM para acionamento de motores do processo sucroalcooleiro, tendo como base a usina Cabrera Energética, onde há CCMI e rede DeviceNet® em funcionamento.

Foram considerados os valores de mão de obra e material das disciplinas envolvidas no estudo: engenharia, projeto, construção, instalação, comissionamento, partida e programação de CLP / IHM.

Com o intuito de padronizar as mesmas solicitações funcionais, foi adotado como referência o acionamento do tipo partida direta.

Seguem relacionadas às necessidades que serão atendidas por qualquer método estudado, considerando as condições de proteção e comunicações externas solicitadas:

- disjuntor, contator e relé de sobrecarga (proteção térmica);
- proteção de aquecimento do motor com sensor PTC;
- proteção contra fuga terra;
- acionamento externo:
  - botão liga;
  - botão desliga;
  - botão de emergência na porta do CCM;
- sinalização externa:
  - ligado;
  - desligado;
  - defeito;
  - sobre temperatura - sensor PTC;
  - fuga terra;
  - pronto para partir (refere-se à monitoração de duas condições: gaveta conectada e disjuntor de potência ligado).

Foram considerados os acionamentos de 25 motores de corrente alternada trifásicos, assíncronos do tipo gaiola de esquilo, que é o mais utilizado em instalações industriais, de 5 CV (3,7 kW) / 440 V<sub>CA</sub> ~ 60 Hz.

Para os valores de hora trabalhada, foram utilizadas como referência as horas nominais, não considerando benefícios ou encargos para os mesmos, de acordo com salários de base do ano.

Os dados foram obtidos no CAGED/TEM (SERT-SP, 2010), órgão ligado ao Governo do Estado de São Paulo, que calcula o salário médio dos profissionais admitidos nos últimos seis meses no mercado de trabalho formal, a partir das referências dos profissionais da CBO (Classificação Brasileira de Ocupações):

- engenheiro eletricista de projetos, código CBO: 214320, com salário mensal de R\$4.960,00 - 160 horas mensais a R\$31,00 por hora trabalhada;
- eletrotécnico - produção de energia, código CBO: 313110, com salário mensal de R\$1.422,00 - 160 horas mensais a R\$8,89 por hora trabalhada.

Este trabalho utiliza os mesmos valores em todas as opções elaboradas para análise, com intuito de padronizar os valores das horas dos profissionais envolvidos, mantendo os valores independentes dos conhecimentos necessários de cada profissional.

### 3.1 CCM CONVENCIONAL INTERLIGADO POR MULTICABOS

A primeira configuração analisada foi com CCM convencional equipado com disjuntor magnético, contator tripolar e relé bimetálico/eletrônico. O comando e sinalização são realizados pela mesa de comando, via botões e sinaleiros conectando a fiação ponto a ponto (necessidade de conjunto de cabos entre botões e sinaleiros, com os contatos de estado do acionamento), conforme ilustrado na Figura 11, indicando a quantidade de conexões elétricas entre o CCM e mesa de comando.

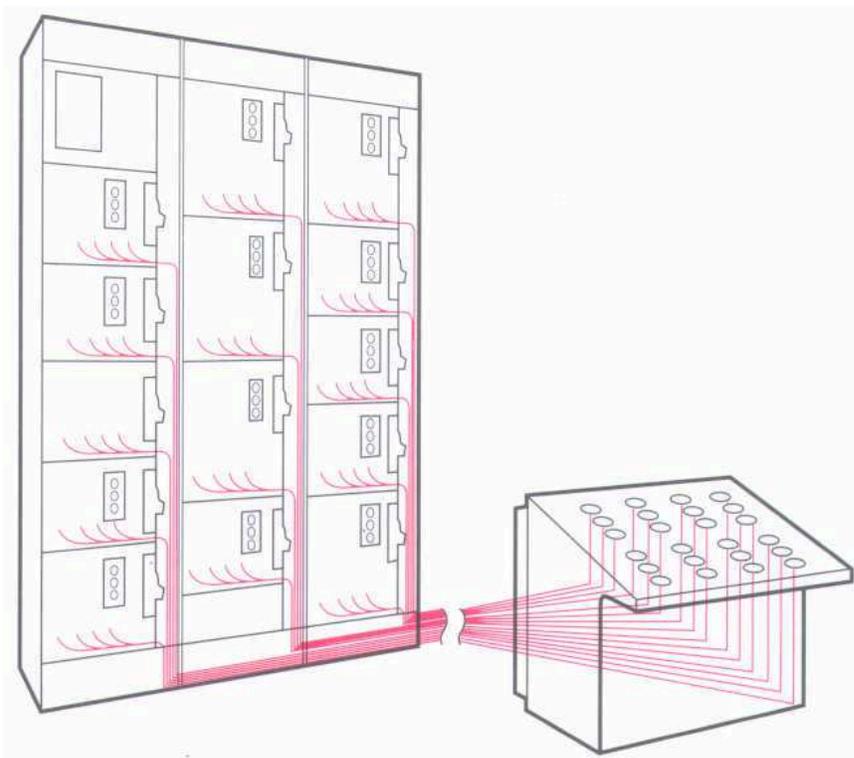


Figura 11 – Configuração de instalação de CCM convencional interligado via multicabos (cortesia: Rockwell Automation)

A sinalização externa é disponibilizada nos bornes ao lado da gaveta do CCM, que será interligada com os sinaleiros na mesa de comando, sendo necessários 14 cabos para os sete estados monitorados.

Os botões de acionamento liga/desliga são disponibilizados na mesa de comando, conforme ilustrado na Figura 12, sendo interligado com os bornes ao lado da gaveta do CCM, tornando necessários três cabos para os dois comandos.

Para atender aos requisitos das proteções solicitadas, são necessários adicionar os relés de fuga terra e PTC, pois os relés de sobrecarga convencionais não disponibilizam essas proteções, conforme diagrama ilustrado na Figura 13.



Figura 12 – Mesa de comando e controle das moendas (cortesia: Usina Rafard)

Foram realizados os levantamentos para comparação dos resultados, segundo as Tabelas 5 a 8, que relacionam as características técnicas desse equipamento.

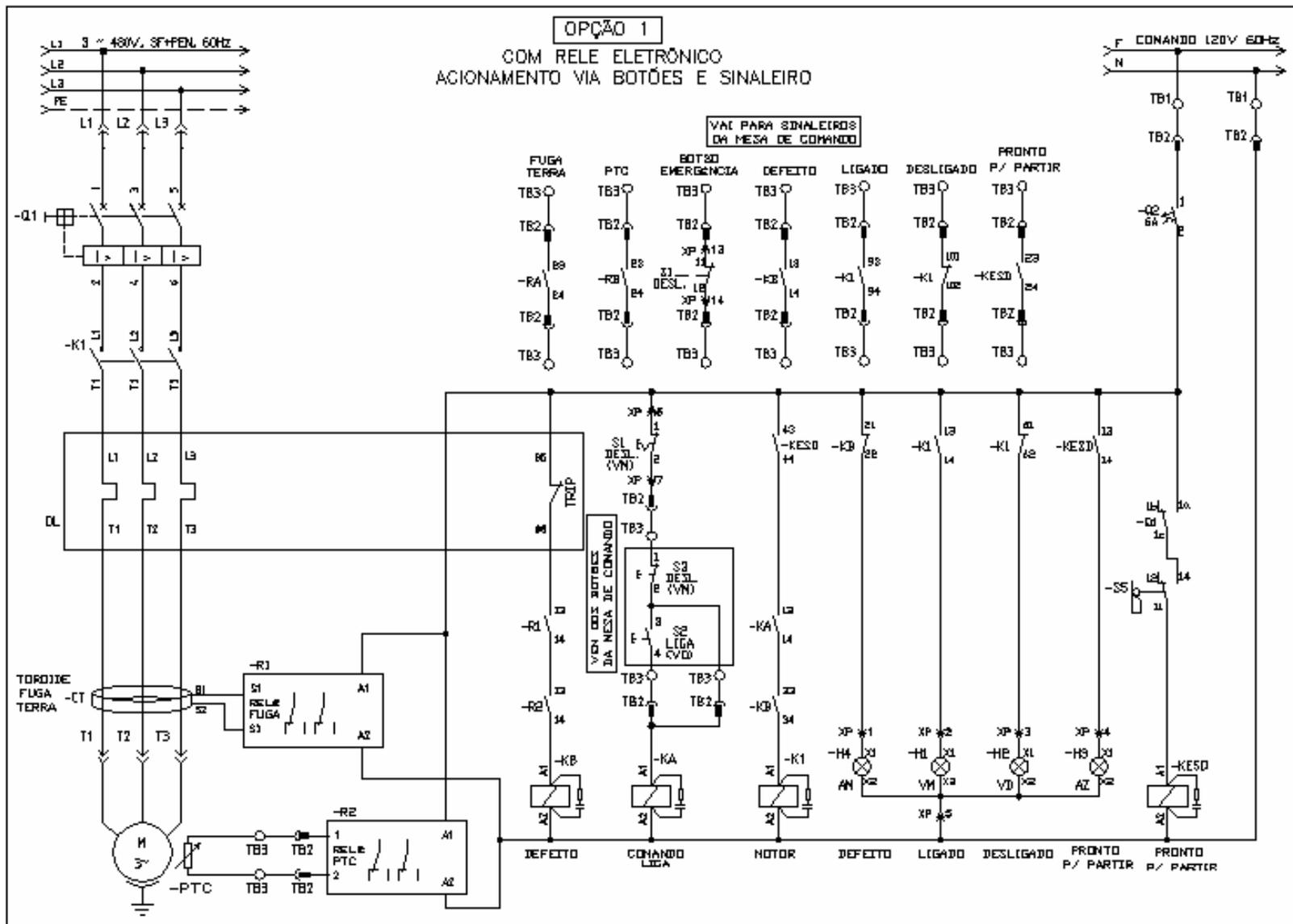


Figura 13 – Diagrama funcional da configuração com CCM convencional

Tabela 5 – Interligação entre gaveta de acionamento do CCM e bornes

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b>Conexões internas de controle</b>		
Botão liga/desliga	3	75
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	10	250
Contato de estado relé fuga terra	2	50
Contato de estado relé PTC	2	50
<b>Conexões externas com motor</b>		
Sensor PTC	2	50
Motor	4	100
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>575</b>

Tabela 6 – Interligação entre mesa de comando e bornes

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b>Conexões internas de controle</b>		
Botão liga/desliga	3	75
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	10	250
Contato de estado relé fuga terra	2	50
Contato de estado relé PTC	2	50
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>425</b>

Tabela 7 – Interligação em campo entre bornes da mesa de comando e CCM

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b>Conexões internas de controle</b>		
Botão liga/desliga	3	75
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	10	250
Contato de estado relé fuga terra	2	50
Contato de estado relé PTC	2	50
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>425</b>

Tabela 8 – Equipamento de automação

<b>Descrição</b>	<b>Nº de pontos</b>	<b>Total</b>
<b>Conexões internas de controle</b>		
Entrada digital	0	0
Saída digital	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Nessa opção de montagem não serão utilizados os equipamentos de automação, sendo todo comando e sinalização realizados por botões e sinaleiros.

As Tabelas 9 e 10 relacionam os materiais necessários para a montagem dos acionamentos projetados no CCM e na mesa de comando, respectivamente, bem como os valores de referência utilizados no estudo.

Tabela 9 – Valores dos materiais do CCM com fiação a botões

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Acionamento no CCM</b>				
Disjuntor motor magnético	25	140M	150,00	3.750,00
Contato auxiliar do disjuntor	25	100SC	15,00	375,00
Contator tripolar	25	100C	90,00	2.250,00
Relé térmico bimetálico	25	193EA	150,00	3.750,00
Relé térmico eletrônico com rede DeviceNet® (E3+)	0	193EC	600,00	0,00
Disjuntor monopolar termomagnético	25	1492	20,00	500,00
Contator auxiliar 120 V <sub>CA</sub>	75	700CF	15,00	1.125,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	100	800F	20,00	2.000,00
Fim de curso (gaveta conectada)	25	LIMIT	15,00	375,00
Botão soco giratório (emergência)	25	800F	35,00	875,00
Relé de fuga terra	25	50GS	800,00	20.000,00
TC tipo toróide para relé fuga terra	25	TC	50,00	1.250,00
Relé sensor PTC de motor	25	PTC	150,00	3.750,00
Bornes e terminais	575	1492	3,00	1.725,00
Chaparia e diversos	25	RA	1.000,00	25.000,00
Bastidor de <i>flex I/O</i> (175 entradas / 25 saídas), 6 cartões (32DI) + cartão (32DO)	0	Flex	9.500,00	0,00
<i>Scanner</i> de rede DeviceNet®	0	SDN	2.000,00	0,00
Rede DeviceNet®	0	DNET	1.000,00	0,00
<b>Total</b>				<b>66.725,00</b>

Tabela 10 – Valores dos materiais da mesa de comando

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Mesa de comando</b>				
Botão liga (NA)	25	800F	20,00	500,00
Botão desliga (NF)	25	800F	20,00	500,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	175	800F	20,00	3.500,00
Bornes e terminais	425	1492	3,00	1.275,00
Chaparia e diversos	1	RA	2.500,00	2.500,00
CLP (50 entradas / 175 saídas), 2 cartões (32DI) + 6 cartões (32DO)		Compact Logix®	23.000,00	0,00
CLP (0 entradas / 0 saídas)		Compact Logix®	8.000,00	0,00
IHM		Panel View 10	7.500,00	0,00
<b>Total</b>				<b>8.275,00</b>

Conforme levantamento realizado nas Tabelas 5 a 8, apresentando as quantidades de interligações necessárias entre os equipamentos, pode-se realizar o estudo dos materiais utilizados na instalação e interligação entre CCM, mesa de comando e motores.

Para uniformizar os estudos, será considerada a distância padrão entre motores e CCM de 50 m, sendo alimentados 25 motores, onde todos os circuitos alimentadores serão compostos por seis cabos até os motores.

As interligações entre mesa de comando e CCM, serão realizadas conforme a quantidade de cabos apresentada na Tabela 7, com distância percorrida de 80 m, sendo considerado o eletroduto com barras de 3 m, totalizando 27 barras para cada lance de eletrodutos.

Para conduzir os 425 cabos instalados serão previstos seis lances de eletroduto, os resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Materiais para instalação em campo

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [m/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores</b>	<b>Valores unitários [R\$/m]</b>	<b>Valores totais [R\$]</b>
<b>Materiais para interligação do motor</b>				
Cabos unipolar # 4,0 mm <sup>2</sup>	300	7.500 m	3,50	26.250,00
<b>Materiais para interligação do CCM com mesa de comando</b>				
Cabos de comando # 1,5 mm <sup>2</sup>	80	34.000 m	2,00	68.000,00
Cabo de rede	0	0	15,00	0,00
Eletroduto 2"	-	162 pçs	30,00	4.860,00
<b>Total</b>				<b>99.110,00</b>

A Tabela 12 relaciona os tempos estimados para a realização das tarefas necessárias para o projeto e instalação do sistema em estudo, com ênfase na arquitetura proposta.

Tabela 12 – Mão de obra utilizada na opção por CCM com fiação a botões

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [min/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores [h]</b>
<b>Engenharia</b>		
Diagrama unifilar da instalação	30	12,50
Diagrama funcional do acionamento	30	12,50
Projeto do CCM e interligações internas	40	16,67
Projeto das interligações na sala elétrica entre CCM e mesa de comando	60	25,00
Projeto elétrico do CLP, <i>flex I/O</i> e IHM	0	0,00
Especificação de materiais	60	25,00
Programação do CLP / IHM	0	0,00
<b>Total</b>	<b>220</b>	<b>91,67</b>
<b>Valor considerado de Engenharia / Projeto</b>	<b>R\$31,00 / h</b>	<b>R\$ 2.841,66</b>
<b>Tempo de montagem e instalação</b>		
Cabos de potência	60	25,00
Cabos de controle e comando entre CCM e mesa de comando	212,5	88,54
Infra-estrutura elétrica entre CCM e mesa de comando	106,25	44,27
Fabricação de CCM e mesa de comando	800	333,33
Partida e comissionamento	400	166,67
<b>Total</b>	<b>1578,75</b>	<b>657,81</b>
<b>Total de horas [h] Eletricista a R\$8,89 / h</b>	<b>657,81</b>	<b>R\$ 5.166,67</b>
<b>Total de horas [h] Engenheiro a R\$31,00 / h (somente na partida e no comissionamento)</b>	<b>166,67</b>	<b>R\$ 5.847,95</b>
<b>Valor total</b>		<b>R\$ 11.014,62</b>

### 3.2 CCM CONVENCIONAL INTERLIGADO POR CABO DE REDE COM MESA DE COMANDO EQUIPADA COM BOTOEIRAS

A segunda configuração analisada foi projetada com CCM convencional equipado com disjuntor magnético, contator tripolar e relé bimetálico/eletrônico. O comando e sinalização são realizados pela mesa de comando via botões e sinaleiros que são conectados a um CLP, responsável por concentrar todos os sinais e comunicar via rede industrial com um bastidor de E/S remota (*Flex I/O*), instalado no interior do CCM.

Essa configuração possui a mesma quantidade de fiações que a configuração anterior, porém as mesmas serão realizadas dentro dos conjuntos de manobra (CCM e mesa de comando), entre os bornes das gavetas do acionamento até as unidades de E/S remota (*Flex I/O*) no CCM e dos botões e sinaleiros até o CLP na mesa de comando, sendo instalado em campo, somente um cabo de rede industrial, conforme ilustrado na Figura 14, indicando a quantidade de conexões elétricas internas e rede entre o CCM e mesa de comando.

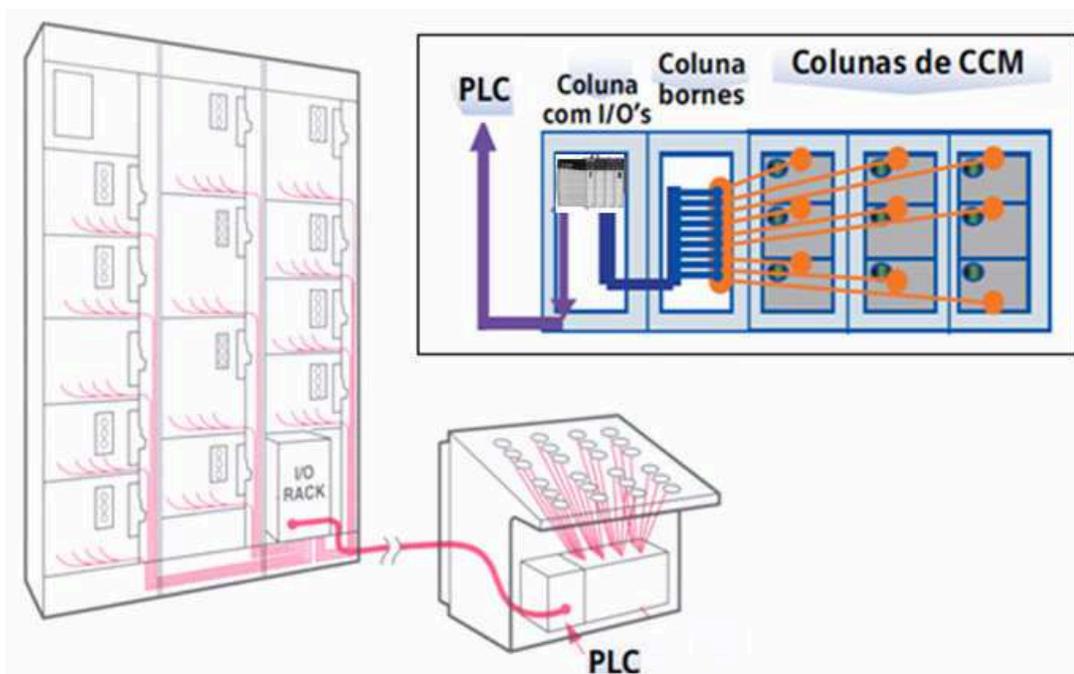


Figura 14 – Configuração de instalação de CCM convencional com interligação via cabo de rede e acionamento com botões e sinaleiros (cortesia: Rockwell Automation)

Para atender os requisitos das proteções solicitadas, é necessário adicionar os relés de fuga terra e PTC, pois os relés de sobrecarga convencionais não disponibilizam essas proteções. Entre o CCM e a mesa de comando será instalado somente um cabo de rede que interligará a unidade de E/S com o CLP, conforme diagrama ilustrado na Figura 15.

A sinalização externa é disponibilizada na borneira ao lado da gaveta do CCM, que será interligada com os cartões de entrada da unidade de E/S em campo, sendo necessários 14 cabos para os sete estados monitorados.

Os botões de acionamento liga/desliga são disponibilizados na mesa de comando sendo interligados com o cartão de entrada do CLP, tornando necessários três cabos para os dois comandos.

Para o acionamento do motor é necessária a interligação com os cartões de saída da unidade de E/S remota, sendo necessários dois cabos para o comando liga/desliga.



Para os estudos foram realizados os levantamentos e tabulações para comparação dos resultados, segundo as Tabelas 13 a 16.

Tabela 13 – Interligação entre gaveta de acionamento do CCM e bornes do *Flex I/O*

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Botão liga/desliga	2	50
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	10	250
Contato de estado relé fuga terra	2	50
Contato de estado relé PTC	2	50
<b><i>Conexões externas com motor</i></b>		
Sensor PTC	2	50
Motor	4	100
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>550</b>

Tabela 14 – Interligação entre mesa de comando e bornes do CLP

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Botão liga/desliga	3	75
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	10	250
Contato de estado relé fuga terra	2	50
Contato de estado relé PTC	2	50
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>425</b>

Tabela 15 – Interligação em campo entre *Flex I/O* (CCM) e CLP (mesa de comando)

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Botão liga/desliga	0	0
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	0	0
Contato de estado relé fuga terra	0	0
Contato de estado relé PTC	0	0
Cabo de rede entre <i>Flex I/O</i> e CLP	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabela 16 – Equipamento de automação: CLP e *Flex I/O*

<b>Descrição</b>	<b>Nº de pontos</b>	<b>Total</b>
<b><i>Conexões internas de controle no Flex I/O do CCM</i></b>		
Entrada digital	7	175
Saída digital	1	25
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>200</b>
<b><i>Conexões internas de controle no CLP da mesa de comando</i></b>		
Entrada digital	2	50
Saída digital	7	175
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>225</b>

Nessa opção de montagem são utilizados equipamentos de automação somente para coletar os sinais e comunicar via rede industrial, mantendo a interface com o operador por botões e sinaleiros.

As Tabelas 17 e 18 relacionam os materiais necessários para a montagem dos acionamentos projetados no CCM e na mesa de comando, respectivamente, bem como os modelos e valores de referência utilizados no estudo.

Tabela 17 – Valores de materiais do CCM com interligação via cabo de rede e acionamento com botões e sinaleiros

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Acionamento no CCM</b>				
Disjuntor motor magnético	25	140M	150,00	3.750,00
Contato auxiliar do disjuntor	25	100SC	15,00	375,00
Contator tripolar	25	100C	90,00	2.250,00
Relé térmico bimetálico	25	193EA	150,00	3.750,00
Relé térmico eletrônico com rede DeviceNet® (E3+)	0	193EC	600,00	0,00
Disjuntor monopolar termomagnético	25	1492	20,00	500,00
Contator auxiliar 120 V <sub>CA</sub>	75	700CF	15,00	1.125,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	100	800F	20,00	2.000,00
Fim de curso (gaveta conectada)	25	LIMIT	15,00	375,00
Botão soco giratório (emergência)	25	800F	35,00	875,00
Relé de fuga terra	25	50GS	800,00	20.000,00
TC tipo toróide para relé fuga terra	25	TC	50,00	1.250,00
Relé sensor PTC de motor	25	PTC	150,00	3.750,00
Bornes e terminais	550	1492	3,00	1.650,00
Chaparia e diversos	25	RA	1.000,00	25.000,00
Bastidor de <i>Flex I/O</i> (175 entradas / 25 saídas), 6 cartões (32DI) + cartão (32DO)	1	Flex	9.500,00	9.500,00
Scanner de Rede DeviceNet®	0	SDN	2.000,00	0,00
Rede DeviceNet®	0	DNET	1.000,00	0,00
<b>Total</b>				<b>76.150,00</b>

Tabela 18 – Valores de materiais da mesa de comando com interligação via cabo de rede e acionamento com botões e sinaleiros

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Mesa de comando</b>				
Botão liga (NA)	25	800F	20,00	500,00
Botão desliga (NF)	25	800F	20,00	500,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	175	800F	20,00	3.500,00
Bornes e terminais	425	1492	3,00	1.275,00
Chaparia e diversos	1	RA	2.500,00	2.500,00
CLP (50 entradas / 175 saídas), 2 cartões (32DI) + 6 cartões (32DO)	1	Compact Logix®	23.000,00	23.000,00
CLP (0 entradas / 0 saídas)		Compact Logix®	8.000,00	0,00
IHM		Panel View 10	7.500,00	0,00
<b>Total</b>				<b>31.275,00</b>

Conforme levantamento realizado nas Tabelas 13 a 16, apresentando as quantidades de interligações necessárias entre os equipamentos, pode-se realizar o estudo dos materiais utilizados na instalação e interligação entre CCM, mesa de comando e motores.

Para uniformizar os estudos, será considerada a distância padrão entre motores e CCM de 50 m, sendo alimentados 25 motores, onde todos os circuitos alimentadores serão compostos por seis cabos até os motores.

As interligações entre mesa de comando e CCM serão realizadas, conforme quantidade de cabos apresentado na Tabela 15, com distância percorrida de 80 m, sendo considerado o eletroduto com barras de 3 m, totalizando 27 barras para cada lance de eletroduto, para conduzir um cabo de rede instalado será previsto um lance de eletroduto, os resultados estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Materiais para instalação em campo entre *Flex I/O* (CCM) e CLP (mesa de comando)

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [m/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores</b>	<b>Valores unitários [R\$/m]</b>	<b>Valores totais [R\$]</b>
<b>Materiais para interligação do motor</b>				
Cabos unipolar # 4,0 mm <sup>2</sup>	300	7.500 m	3,50	26.250,00
<b>Materiais para interligação do CCM com mesa de comando</b>				
Cabos de comando # 1,5 mm <sup>2</sup>	0	0	2,00	0,00
Cabo de rede	-	80 m	15,00	1.200,00
Eletroduto 2"	-	27 pçs	30,00	810,00
<b>Total</b>				<b>28.260,00</b>

A Tabela 20 relaciona os tempos estimados para a realização das tarefas necessárias para o projeto e instalação do sistema em estudo, com ênfase na arquitetura proposta.

Tabela 20 – Mão de obra utilizada na opção por CCM com rede até mesa de comando

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [min/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores [h]</b>
<b>Engenharia</b>		
Diagrama unifilar da instalação	30	12,50
Diagrama funcional do acionamento	30	12,50
Projeto do CCM e interligações internas	40	16,67
Projeto das interligações na sala de painéis elétricos entre CCM e mesa de comando	5	2,08
Projeto elétrico do CLP, <i>Flex I/O</i> e IHM	30	12,50
Especificação de materiais	80	33,33
Programação do CLP / IHM	60	25,00
<b>Total</b>	<b>275</b>	<b>114,58</b>
<b>Valor considerado de Engenharia / Projeto</b>	<b>R\$31,00 / h</b>	<b>R\$ 3.552,08</b>
<b>Tempo de montagem e instalação</b>		
Cabos de potência	60	25,00
Cabos de controle e comando entre CCM e mesa de comando	10	4,17
Infra-estrutura elétrica entre CCM e mesa de comando	10	4,17
Fabricação de CCM e mesa de comando	787,5	328,13
Partida e comissionamento	393,75	164,06
<b>Total</b>	<b>1.261,25</b>	<b>525,52</b>
<b>Total de horas [h] Eletricista a R\$8,89 / h</b>	<b>525,52</b>	<b>R\$ 5.085,94</b>
<b>Total de horas [h] Engenheiro a R\$31,00 / h (somente na partida e no comissionamento)</b>	<b>164,06</b>	<b>R\$ 4.671,88</b>
<b>Valor total</b>		<b>R\$ 9.757,82</b>

### 3.3 CCM CONVENCIONAL INTERLIGADO POR CABO DE REDE COM MESA DE COMANDO EQUIPADA COM IHM

A terceira configuração analisada foi projetada utilizando CCM convencional equipado com disjuntor magnético, contator tripolar e relé bimetálico/eletrônico. O comando e sinalização são realizados pela mesa de comando via IHM que é conectada a um CLP, responsável por concentrar todos os sinais e comunicar via rede industrial com um bastidor de E/S remota (*Flex I/O*), instalado no interior do CCM.

Essa configuração possui menor quantidade de fiações instaladas na mesa de comando que a configuração anterior (devido à troca de botões e sinaleiros pela IHM), porém as mesmas serão realizadas dentro dos conjuntos de manobra (CCM e mesa de comando), entre os bornes das gavetas do acionamento até as unidades de E/S remota (*Flex I/O*) no CCM e entre IHM e o CLP na mesa de comando, sendo instalado em campo, somente um cabo de rede industrial, conforme ilustrado na Figura 16, indicando a quantidade de conexões elétricas internas e rede entre o CCM e mesa de comando.



Figura 16 – Configuração de instalação de CCM convencional com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM (cortesia: Rockwell Automation)

Para atender os requisitos das proteções solicitadas são necessários adicionar os relés de fuga terra e PTC, pois os relés de sobrecarga convencionais não disponibilizam essas proteções. Entre o CCM e a mesa de comando será instalado somente um cabo de rede que interligará a unidade de E/S com o CLP, conforme diagrama ilustrado na Figura 17.

A sinalização externa é disponibilizada na borneira ao lado da gaveta do CCM, que será interligada com os cartões de entrada da unidade de E/S remota, sendo necessários 14 cabos para os sete estados monitorados.

Os comandos de acionamento liga/desliga são realizados via IHM, instalada na mesa de comando e será interligada via rede com o CLP.

Para o acionamento do motor é necessária a interligação com os cartões de saída da unidade de E/S remota, sendo necessários dois cabos para o comando liga/desliga.

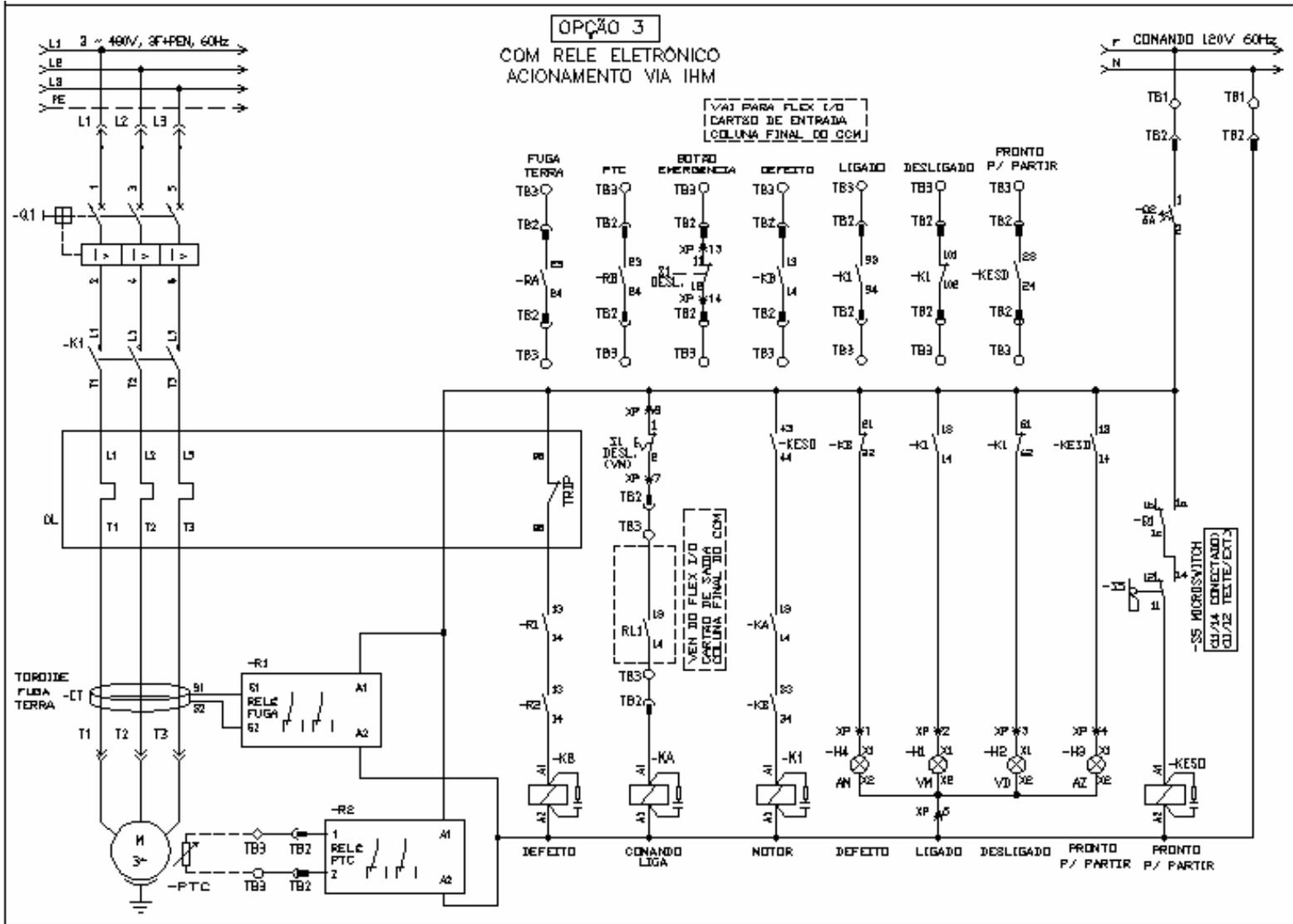


Figura 17 – Diagrama funcional do CCM convencional com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM

Para os estudos foram realizados os levantamentos e tabulações para comparação dos resultados, segundo as Tabelas 21 a 24.

Tabela 21 – Interligação entre gaveta de acionamento do CCM e bornes do *Flex I/O*

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Relé liga/desliga	2	50
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	10	250
Contato de estado relé fuga terra	2	50
Contato de estado relé PTC	2	50
<b><i>Conexões externas com motor</i></b>		
Sensor PTC	2	50
Motor	4	100
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>550</b>

Tabela 22 – Interligação entre mesa de comando e bornes do CLP

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Botão liga/desliga	0	0
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	0	0
Contato de estado relé fuga terra	0	0
Contato de estado relé PTC	0	0
IHM ( <i>touch screen</i> ) para CLP	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabela 23 – Interligação em campo entre *Flex I/O* (CCM) e CLP (mesa de comando)

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Relé: liga / desliga	0	0
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	0	0
Contato de estado relé fuga terra	0	0
Contato de estado relé PTC	0	0
Cabo de rede entre <i>Flex I/O</i> e CLP	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabela 24 – Equipamento de automação: CLP, IHM e *Flex I/O*

<b>Descrição</b>	<b>Nº de pontos</b>	<b>Total</b>
<b><i>Conexões internas de controle no Flex I/O do CCM</i></b>		
Entrada digital	7	175
Saída digital	1	25
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>200</b>
<b><i>Conexões internas de controle no CLP da mesa de comando</i></b>		
Entrada digital	0	0
Saída digital	0	0
IHM ( <i>touch screen</i> )	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

As Tabelas 25 e 26 relacionam os materiais necessários para a montagem dos acionamentos projetados no CCM e na mesa de comando, respectivamente, bem como os modelos e valores de referência utilizados no estudo.

Tabela 25 – Valores de materiais do CCM com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Acionamento no CCM</b>				
Disjuntor motor magnético	25	140M	150,00	3.750,00
Contato auxiliar do disjuntor	25	100SC	15,00	375,00
Contator tripolar	25	100C	90,00	2.250,00
Relé térmico bimetálico	25	193EA	150,00	3.750,00
Relé térmico eletrônico com rede DeviceNet® (E3+)	0	193EC	600,00	0,00
Disjuntor monopolar termomagnético	25	1.492	20,00	500,00
Contator auxiliar 120 V <sub>CA</sub>	75	700CF	15,00	1.125,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	100	800F	20,00	2.000,00
Fim de curso (gaveta conectada)	25	LIMIT	15,00	375,00
Botão soco giratório (emergência)	25	800F	35,00	875,00
Relé de fuga terra	25	50GS	800,00	20.000,00
TC tipo toróide para relé fuga terra	25	TC	50,00	1.250,00
Relé sensor PTC de motor	25	PTC	150,00	3.750,00
Bornes e terminais	550	1492	3,00	1.650,00
Chaparia e diversos	25	RA	1.000,00	25.000,00
Bastidor de <i>Flex I/O</i> (175 entradas / 25 saídas), 6 cartões (32DI) + cartão (32DO)	1	Flex	9.500,00	9.500,00
<i>Scanner</i> de Rede DeviceNet®	0	SDN	2.000,00	0,00
Rede DeviceNet®	0	DNET	1.000,00	0,00
<b>Total</b>				<b>76.150,00</b>

Tabela 26 – Valores de materiais da mesa de comando com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Mesa de comando</b>				
Botão liga (NA)	0	800F	20,00	0,00
Botão desliga (NF)	0	800F	20,00	0,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	0	800F	20,00	0,00
Bornes e terminais	25	1.492	3,00	75,00
Chaparia e diversos	1	RA	2.500,00	2.500,00
CLP (50 entradas / 175 saídas), 2 cartões (32DI) + 6 cartões (32DO)	0	Compact Logix®	23.000,00	0,00
CLP (0 entradas / 0 saídas)	1	Compact Logix®	8.000,00	8.000,00
IHM	1	Panel View 10	7.500,00	7.500,00
<b>Total</b>				<b>18.075,00</b>

Conforme levantamento realizado nas Tabelas 21 a 24, apresentando as quantidades de interligações necessárias entre os equipamentos, pode-se realizar o estudo dos materiais utilizados na instalação e interligação entre CCM, mesa de comando e motores.

Para uniformizar os estudos será considerada a distância padrão entre motores e CCM de 50 m, sendo alimentados 25 motores, todos os circuitos alimentadores serão compostos por seis cabos até os motores.

As interligações entre mesa de comando e CCM serão realizadas conforme quantidade de cabos apresentado na Tabela 23, com distância percorrida de 80 m, sendo considerado o eletroduto com barras de 3 m, totalizando 27 barras para cada lance de eletroduto. Para conduzir um cabo de rede instalado será previsto um lance de eletrodutos. Os resultados estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Materiais para instalação em campo entre *Flex I/O* (CCM) e CLP (mesa de comando)

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [m/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores</b>	<b>Valores unitários [R\$/m]</b>	<b>Valores totais [R\$]</b>
<b>Materiais para interligação do motor</b>				
Cabos unipolar #4,0 mm <sup>2</sup>	300	7.500 m	3,50	26.250,00
<b>Materiais para interligação do CCM com mesa de comando</b>				
Cabos de comando #1,5 mm <sup>2</sup>	0	0	2,00	0,00
Cabo de rede	-	80 m	15,00	1.200,00
Eletroduto 2"	-	27 pçs	30,00	810,00
<b>Total</b>				<b>28.260,00</b>

A Tabela 28, que relaciona os tempos estimados para a realização das tarefas necessárias para o projeto e instalação do sistema em estudo, com ênfase na arquitetura proposta.

Tabela 28 – Mão de obra utilizada na opção por CCM com rede até mesa de comando com IHM

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [min/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores [h]</b>
<b>Engenharia</b>		
Diagrama unifilar da instalação	30	12,50
Diagrama funcional do acionamento	20	8,33
Projeto do CCM e interligações internas	20	8,33
Projeto das interligações na sala de painéis elétricos entre CCM e mesa de comando	5	2,08
Projeto elétrico do CLP, <i>Flex I/O</i> e IHM	30	12,50
Especificação de materiais	40	16,67
Programação do CLP / IHM	80	33,33
<b>Total</b>	<b>225</b>	<b>93,75</b>
<b>Valor considerado de Engenharia / Projeto</b>	<b>R\$31,00 / h</b>	<b>R\$ 2.906,25</b>
<b>Tempo de montagem e instalação</b>		
Cabos de potência	60	25,00
Cabos de controle e comando entre CCM e mesa de comando	10	4,17
Infra-estrutura elétrica entre CCM e mesa de comando	10	4,17
Fabricação de CCM e mesa de comando	575	239,58
Partida e comissionamento	287,5	119,79
<b>Total</b>	<b>942,5</b>	<b>392,71</b>
<b>Total de horas [h] Eletricista a R\$8,89 / h</b>	<b>392,71</b>	<b>R\$ 3.713,54</b>
<b>Total de horas [h] Engenheiro a R\$31,00 / h (somente na partida e no comissionamento)</b>	<b>119,79</b>	<b>R\$ 3.491,18</b>
<b>Valor total</b>		<b>R\$ 7.204,72</b>

### 3.4 SISTEMA COM CCM INTELIGENTE INTERLIGADO POR CABO DE REDE COM MESA DE COMANDO EQUIPADA COM IHM

A quarta configuração analisada foi projetada com CCM inteligente equipado com disjuntor magnético, contator tripolar e relé eletrônico com comunicação em rede DeviceNet®. O comando e sinalização são realizados pela mesa de comando via IHM que são conectados a um CLP, responsável por concentrar todos os sinais e comunicar via rede industrial com os relés inteligentes, sem a necessidade de fiações internas dos bornes das gavetas do acionamento.

Essa configuração possui uma quantidade reduzida de fiações, sendo necessário somente um cabo de rede para interligar a IHM com o CLP e outro cabo de rede entre o CLP e os relés, conforme ilustrado na Figura 18.

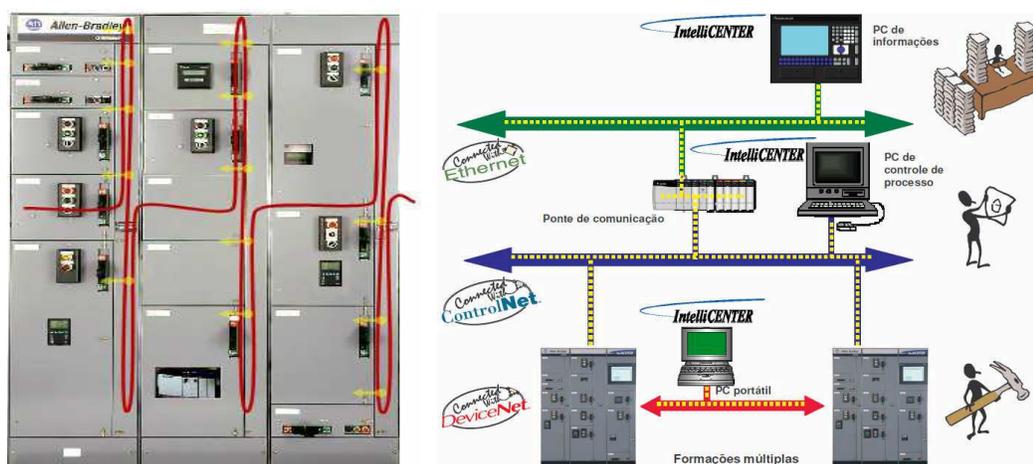


Figura 18 – Configuração de instalação de CCM inteligente com IHM, interligação via rede (cortesia: Rockwell Automation)

Para atender os requisitos das proteções solicitadas são utilizados relés eletrônicos inteligentes que possuem entradas e saídas digitais incorporadas, bem como proteção de fuga terra e PTC. Entre o CCM e a mesa de comando será instalado somente um cabo de rede que interligará os relés com o CLP, conforme diagrama ilustrado na Figura 19.

A sinalização externa é disponibilizada via rede DeviceNet®, que reconhecerá o relé inteligente como um nó da rede e receberá os sinais oriundos das suas entradas digitais, bem como os alarmes e defeitos.

O acionamento será comandado pela IHM que enviará o sinal para o CLP, transportando via rede o comando de liga/desliga das saídas digitais do relé inteligente.

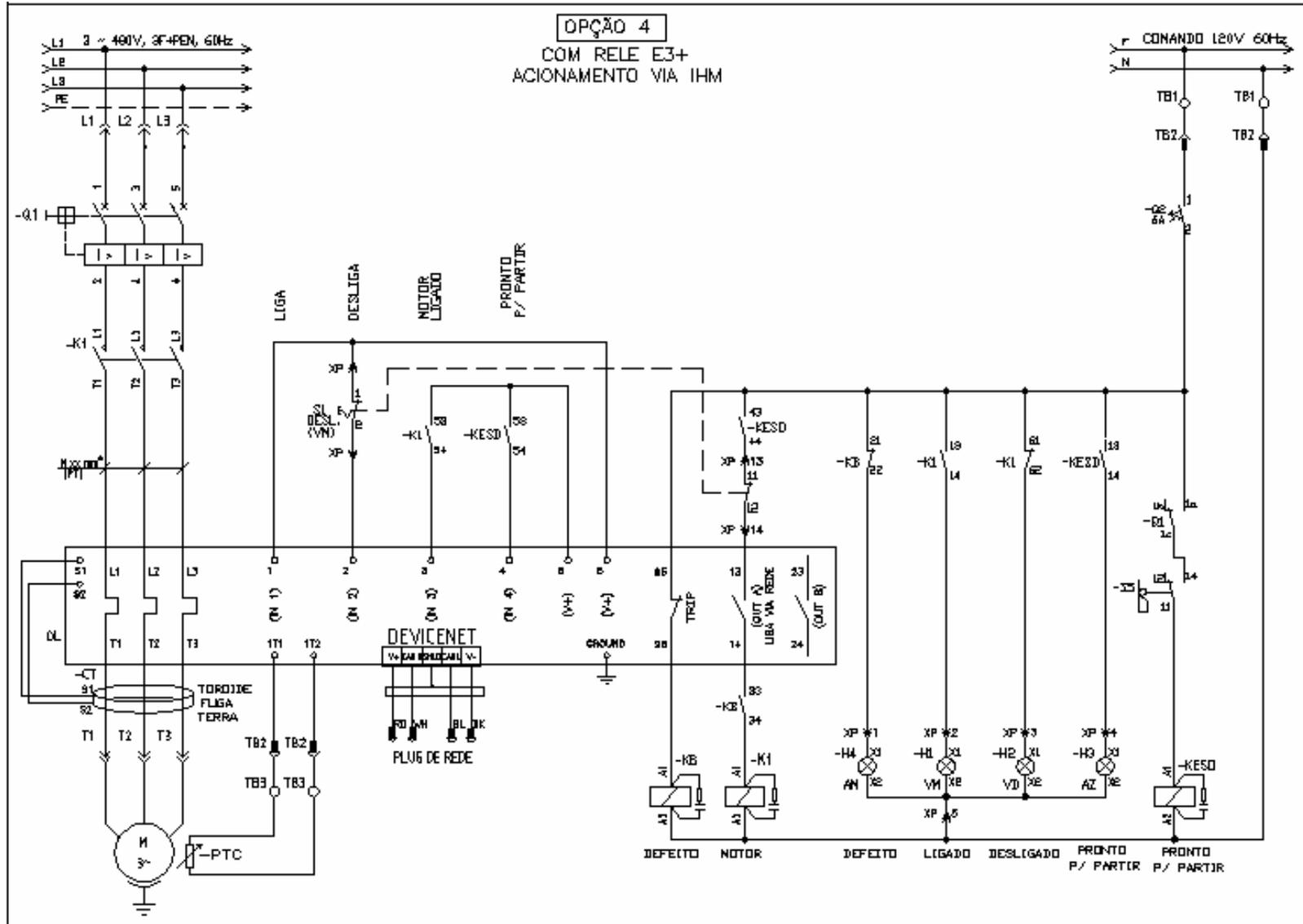


Figura 19 – Diagrama funcional da configuração com CCM inteligente com interligação via rede

Para os estudos foram realizados os levantamentos e tabulações para comparação dos resultados, segundo as Tabelas 29 a 32.

Tabela 29 – Interligação entre gaveta de acionamento do CCMI e bornes

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle (todos sinais via rede)</i></b>		
Botão liga/desliga	0	0
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	0	0
Contato de estado relé fuga terra	0	0
Contato de estado relé PTC	0	0
<b><i>Conexões externas com motor</i></b>		
Sensor PTC	2	50
Motor	4	100
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>150</b>

Tabela 30 – Interligação entre mesa de comando e bornes do CLP

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Botão liga/desliga	0	0
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	0	0
Contato de estado relé fuga terra	0	0
Contato de estado relé PTC	0	0
IHM ( <i>touch screen</i> ) para CLP	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabela 31 – Interligação em campo entre CCMI e CLP (mesa de comando)

<b>Descrição</b>	<b>Nº de cabos</b>	<b>Nº Total de cabos</b>
<b><i>Conexões internas de controle</i></b>		
Botão liga / desliga	0	0
Sinalização: ligado, desligado, defeito, emergência e pronto para partir	0	0
Contato de estado relé fuga terra	0	0
Contato de estado relé PTC	0	0
Cabo de rede entre CCM e CLP	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabela 32 – Equipamento de automação: CLP, IHM e Flex I/O

<b>Descrição</b>	<b>Nº de pontos</b>	<b>Total</b>
<b><i>Conexões internas de controle no Flex I/O do CCM</i></b>		
Entrada digital	0	0
Saída digital	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b><i>Conexões internas de controle no CLP da mesa de comando</i></b>		
Entrada digital	0	0
Saída digital	0	0
IHM ( <i>touch screen</i> )	1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

As Tabelas 33 e 34 relacionam os materiais necessários para a montagem dos acionamentos projetados no CCM e na mesa de comando, respectivamente, bem como os modelos e valores de referência utilizados no estudo.

Tabela 33 – Valores de materiais do CCM inteligente com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Acionamento no CCM</b>				
Disjuntor motor magnético	25	140M	150,00	3.750,00
Contato auxiliar do disjuntor	25	100SC	15,00	375,00
Contator tripolar	25	100C	90,00	2.250,00
Relé térmico bimetálico	0	193EA	150,00	0,00
Relé térmico eletrônico com rede DeviceNet® (E3+)	25	193EC	600,00	15.000,00
Disjuntor monopolar termomagnético	25	1492	20,00	500,00
Contator auxiliar 120 V <sub>CA</sub>	50	700CF	15,00	750,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	100	800F	20,00	2.000,00
Fim de curso (gaveta conectada)	25	LIMIT	15,00	375,00
Botão soco giratório (emergência)	25	800F	35,00	875,00
Relé de fuga terra	0	50GS	800,00	0,00
TC tipo toróide para relé fuga terra	25	TC	50,00	1.250,00
Relé sensor PTC de motor	0	PTC	150,00	0,00
Bornes e terminais	150	1492	3,00	450,00
Chaparia e diversos	25	RA	1.000,00	25.000,00
Bastidor de <i>Flex I/O</i> (175 entradas / 25 saídas), 6 cartões (32DI) + cartão (32DO)	0	Flex	9.500,00	0,00
Scanner de Rede DeviceNet®	1	SDN	2.000,00	2.000,00
Rede DeviceNet®	1	DNET	1.000,00	1.000,00
<b>Total</b>				<b>55.575,00</b>

Tabela 34 – Valores de materiais da mesa de comando com interligação via cabo de rede e acionamento com IHM

Descrição	Quant. [pç]	Modelo	Valores unitários [R\$]	Valores totais [R\$]
<b>Mesa de comando</b>				
Botão liga (NA)	0	800F	20,00	0,00
Botão desliga (NF)	0	800F	20,00	0,00
Sinaleiro 120 V <sub>CA</sub>	0	800F	20,00	0,00
Bornes e terminais	25	1492	3,00	75,00
Chaparia e diversos	1	RA	2.500,00	2.500,00
CLP (50 entradas / 175 saídas), 2 cartões (32DI) + 6 cartões (32DO)	0	Compact Logix®	23.000,00	0,00
CLP (0 entradas / 0 saídas)	1	Compact Logix®	8.000,00	8.000,00
IHM	1	Panel View 10	7.500,00	7.500,00
<b>Total</b>				<b>18.075,00</b>

Conforme levantamento realizado nas Tabelas 29 a 32, apresentando as quantidades de interligações necessárias entre os equipamentos, pode-se realizar o estudo dos materiais utilizados na instalação e interligação entre CCM, mesa de comando e motores.

Para uniformizar os estudos, será considerada a distância padrão entre motores e CCM de 50 m, sendo alimentados 25 motores, todos os circuitos alimentadores serão compostos por seis cabos até os motores.

As interligações entre mesa de comando e CCM, serão realizadas conforme quantidade de cabos apresentado na Tabela 30, com distância percorrida de 80 m, sendo considerada o eletroduto com barras de 3 m, totalizando 27 barras para cada lance de eletroduto, para conduzir um cabo de rede instalado será previsto um lance de eletroduto, os resultados estão apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 – Materiais para instalação em campo entre relés (CCM) e CLP (mesa de comando)

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [m/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores</b>	<b>Valores unitários [R\$/m]</b>	<b>Valores totais [R\$]</b>
<b>Materiais para interligação do motor</b>				
Cabos unipolar # 4,0 mm <sup>2</sup>	300	7.500 m	3,50	26.250,00
<b>Materiais para interligação do CCM com mesa de comando</b>				
Cabos de comando # 1,5 mm <sup>2</sup>	0	0	2,00	0,00
Cabo de rede	0	80 m	15,00	1.200,00
Eletroduto 2"	-	27 pçs	30,00	810,00
<b>Total</b>				<b>28.260,00</b>

A Tabela 36, que relaciona os tempos estimados para a realização das tarefas necessárias para o projeto e instalação do sistema em estudo, com ênfase na arquitetura proposta.

Tabela 36 – Mão de obra utilizada na opção por CCMI com rede até mesa de comando

<b>Descrição</b>	<b>Quant. [min/motor]</b>	<b>Quant. para 25 motores [h]</b>
<b>Engenharia</b>		
Diagrama unifilar da instalação	30	12,50
Diagrama funcional do acionamento	15	6,25
Projeto do CCM e interligações internas	10	4,17
Projeto das interligações na sala elétrica entre CCM e mesa de comando	5	2,08
Projeto elétrico do CLP, <i>Flex I/O</i> e IHM	10	4,17
Especificação de materiais	30	12,50
Programação do CLP / IHM	90	37,50
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>79,17</b>
<b>Valor considerado de Engenharia / Projeto</b>	<b>R\$31,00 / h</b>	<b>R\$ 2.454,17</b>
<b>Tempo de montagem e instalação</b>		
Cabos de potência	60	25,00
Cabos de controle e comando entre CCM e mesa de comando	10	4,17
Infra-estrutura elétrica entre CCM e mesa de comando	10	4,17
Fabricação de CCM e mesa de comando	375	156,25
Partida e comissionamento	187,5	78,13
<b>Total</b>	<b>642,5</b>	<b>267,71</b>
<b>Total de horas [h] Eletricista a R\$8,89 / h</b>	<b>267,71</b>	<b>R\$ 2.421,88</b>
<b>Total de horas [h] Engenheiro a R\$31,00 / h (somente na partida e no comissionamento)</b>	<b>78,13</b>	<b>R\$ 2.379,93</b>
<b>Valor total</b>		<b>R\$ 4.801,80</b>

### 3.5 SIMULAÇÕES

Segue o projeto referente à quarta configuração (analisada no item 3.4), com CCM inteligente equipado com disjuntor magnético, contator tripolar e relé eletrônico com comunicação em rede DeviceNet®. Foram realizados os projetos mecânico, elétrico e a programação do aplicativo de monitoração InteliCENTER®.

O primeiro procedimento do projeto é o levantamento do quadro de cargas utilizadas, conforme demonstrado na Tabela 37, indicando as posições de instalação das potências acionadas, as mesmas serão classificadas por tipo funcional:

- MCB – Unidade de entrada geral;
- DOL – Gaveta de acionamento tipo partida direta;
- DOOR – Compartimento reserva;
- DNPS – Unidade com fonte de alimentação da rede DeviceNet®.

Tabela 37 – Quadro de cargas do CCM inteligente

Item	Tipo	POT(kW) / IN(A)	Mod	Loc		Tag	Nó da rede DeviceNet®
				Col	Pos		
1	MCB	250 A	12	1	A	ENTRADA	1
2	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	1	N	MOTOR 1	2
3	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	1	Q	MOTOR 2	3
4	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	1	S	MOTOR 3	4
5	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	1	U	MOTOR 4	5
6	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	1	W	MOTOR 5	6
7	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	1	Y	MOTOR 6	7
8	DNPS	8 A	4	2	A	FONTE	8
9	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	E	MOTOR 7	9
10	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	G	MOTOR 8	10
11	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	J	MOTOR 9	11
12	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	L	MOTOR 10	12
13	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	N	MOTOR 11	13
14	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	Q	MOTOR 12	14
15	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	S	MOTOR 13	15
16	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	U	MOTOR 14	16
17	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	W	MOTOR 15	17
18	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	2	Y	MOTOR 16	18
19	DOOR		4	3	A	RESERVA	19
20	DOOR		2	3	E	RESERVA	20
21	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	G	MOTOR 17	21
22	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	J	MOTOR 18	22
23	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	L	MOTOR 19	23
24	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	N	MOTOR 20	24
25	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	Q	MOTOR 21	25
26	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	S	MOTOR 22	26
27	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	U	MOTOR 23	27
28	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	W	MOTOR 24	28
29	DOL	3.7 kW / 6.08 A	2	3	Y	MOTOR 25	29

Após a definição das cargas, é gerado o *layout* frontal, conforme apresentado na Figura 20, indicando as posições dos acionamentos.

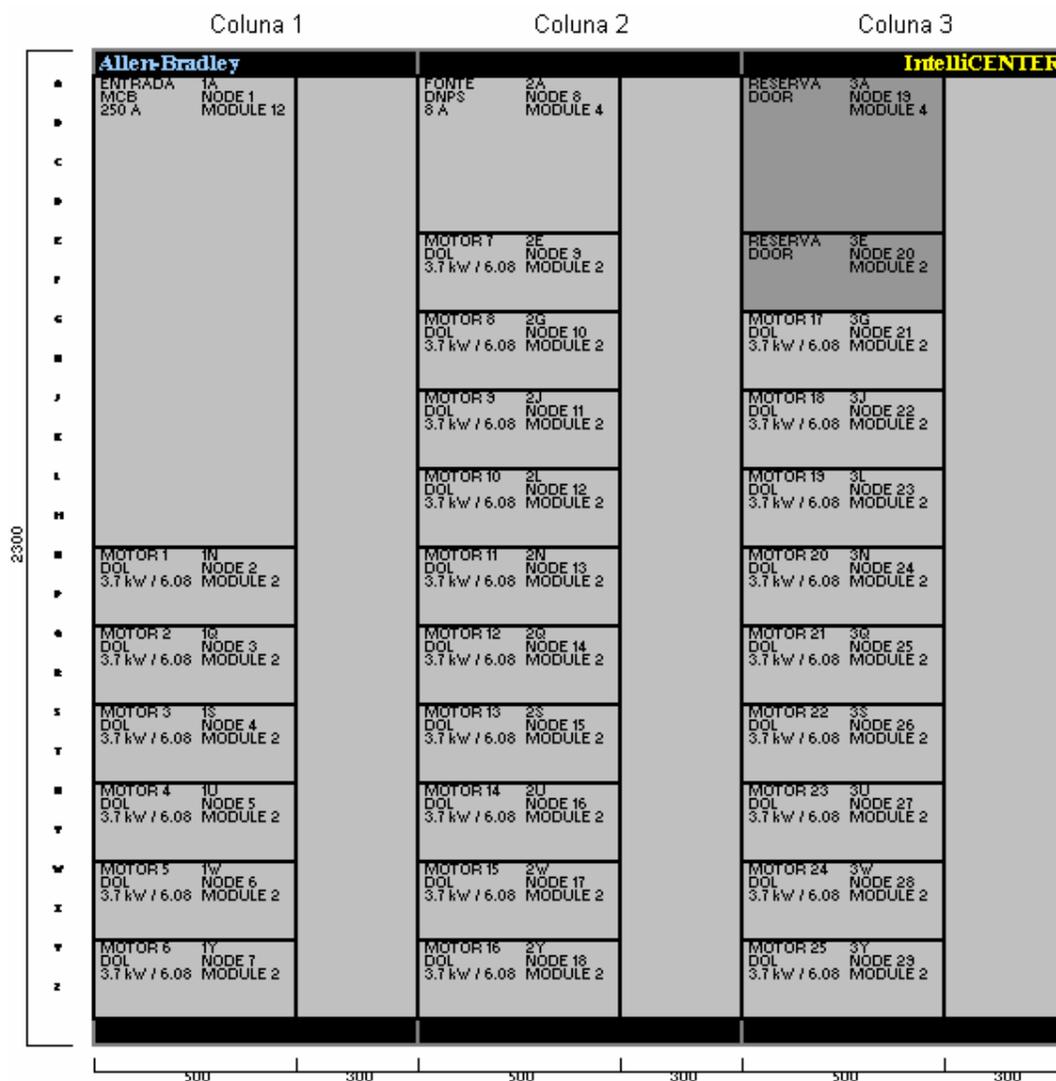


Figura 20 – Vista frontal do CCM inteligente

O CCM inteligente utiliza-se de um aplicativo denominado IntelliCENTER® para realizar o monitoramento dos sinais dos acionamentos via rede DeviceNet®, para isso deve-se criar o CCM na base de dados do programa, conforme apresentado na Figura 21. Esse projeto deve ser idêntico à Figura 20, a fim de fornecer ao operador as mesmas características físicas do CCM monitorado.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	
 PM3000, N6 1 250A  Local: 1A	N6 8  Local: 2A	Door  Local: 3A	
	 E3, N6 9 3.7kW	Door	
	 E3, N6 10 3.7kW	 E3, N6 21 3.7kW	
	 E3, N6 11 3.7kW	 E3, N6 22 3.7kW	
	 E3, N6 12 3.7kW	 E3, N6 23 3.7kW	
 E3, N6 2 3.7kW	 E3, N6 13 3.7kW	 E3, N6 24 3.7kW	
 E3, N6 3 3.7kW	 E3, N6 14 3.7kW	 E3, N6 25 3.7kW	
 E3, N6 4 3.7kW	 E3, N6 15 3.7kW	 E3, N6 26 3.7kW	
 E3, N6 5 3.7kW	 E3, N6 16 3.7kW	 E3, N6 27 3.7kW	
 E3, N6 6 3.7kW	 E3, N6 17 3.7kW	 E3, N6 28 3.7kW	
 E3, N6 7 3.7kW	 E3, N6 18 3.7kW	 E3, N6 29 3.7kW	
			<b>Legenda</b>  Pronto  Em Operação  Aviso  Falha  Sem Comunicação  Posição de Teste

Figura 21 – Vista frontal do CCM no intelliCENTER®

Para supervisão do funcionamento do CCMI via aplicativo intelliCENTER®, as gavetas possuem indicação do estado, o programa possui legenda para que o operador possa intervir rapidamente em caso de falha ou monitorar o motivo do aviso (alarme).

O monitoramento é realizado pelas entradas digitais dos relés inteligentes (E3+), que possuem quatro entradas digitais que são conectadas a contatos que indicam como os acionamentos estão operando, conforme indicado na Figura 22. Para customizar as indicações de acordo com os padrões que os operadores solicitam, o programa permite alterar ou criar as descrições das entradas e saídas digitais (IN 0 / 1 / 2 / 3, OUT 0 / 1), vinculando seus estados de alimentação (nível lógico 0 = zero ou 1 = um) a indicações conforme padrão da legenda do aplicativo.

**Adicionar um Novo Dispositivo de E/S**

Entrada ou Saída?  
Entrada

Descrição  
LIGA

Status Quando Ponto = 0  
Nenhum

Status Quando Ponto = 1  
Em Operação

Nenhum  
Pronto  
Em Operação  
Aviso  
Falha  
Sem Comunicação  
Posição de Teste

Cancelar

**Assistente para Adicionar um Ponto de E/S**

**Entradas**

IN 0 LIGA

IN 1 DESLIGA

IN 2 MOTOR LIGADO

IN 3 PRONTO PARA PARTIR

**Saídas**

OUT 0 CONTATOR MOTOR

OUT 1 Nenhum

Adicionar Dispositivo de E/S OK Cancelar

Figura 22 – Configuração das entradas e saídas do relé inteligente

Cada gaveta possui uma tela de monitoramento detalhado, sendo acessado com duplo clique na gaveta desenhada na vista frontal (Figura 21), sendo aberta uma tela de monitoração detalhada. Essa tela possui dois gráficos de tendência, três mostradores gráficos e leitura das quatro entradas e duas saídas digitais dos relés E3+, conforme ilustrado na Figura 23.

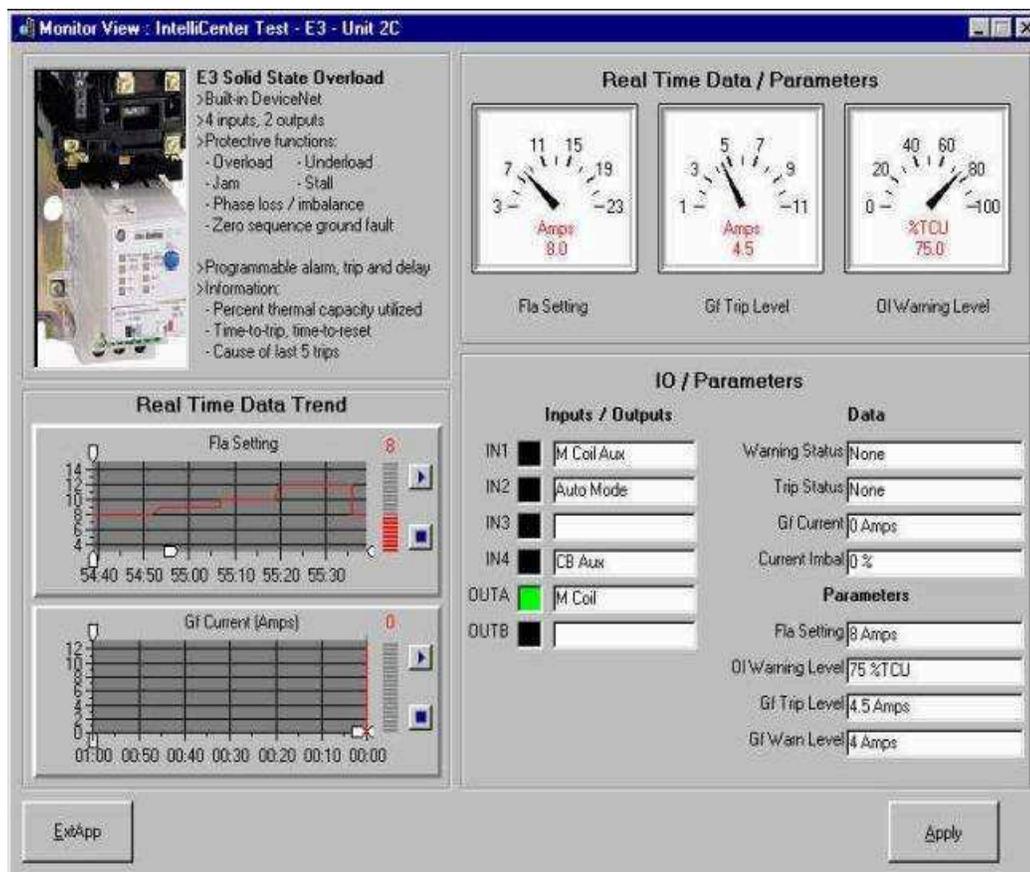


Figura 23 – Detalhe de monitoramento da gaveta de acionamento

Na tela de monitoramento detalhado da gaveta pode-se acessar informações adicionais, como porcentagem da capacidade térmica utilizada, o tempo para desligamento (*trip*), o tempo para rearme em caso de desligamento e quais funções de proteção geraram os cinco últimos desligamentos, facilitando o diagnóstico para o operador e da manutenção com as informações de dia do evento e horário, indicação do desarme, valores de corrente de fase e de terra.

Os desenhos, manuais e listas de peças referentes a cada gaveta de acionamento são arquivos de maneira organizada e fácil acesso ao usuário, facilitando em caso de manutenção e atendendo às normas de segurança, conforme ilustrado na Figura 24.

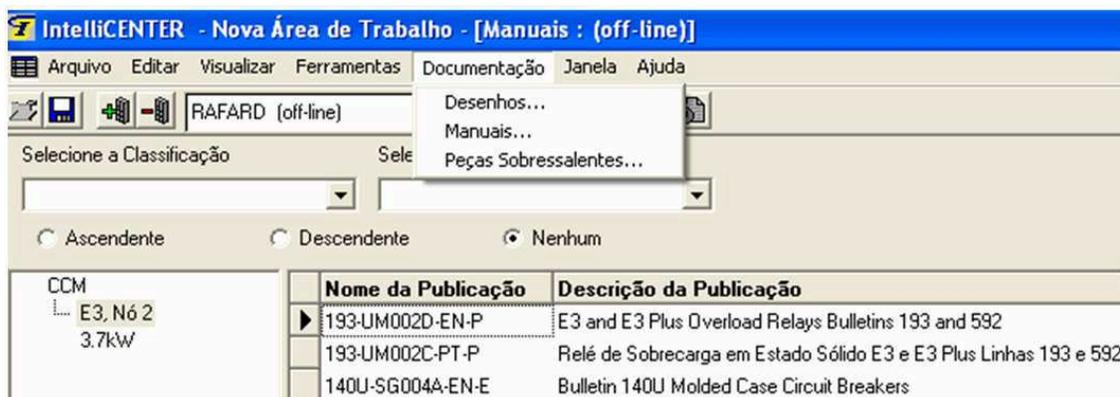


Figura 24 – Documentação referente à gaveta do CCM1

Para auxílio do controle da produção, o aplicativo disponibiliza uma tabela com histórico dos eventos realizados pelos dispositivos, possuindo filtros para auxiliar a identificar possíveis problemas respectivos que caracterizam defeitos nos equipamentos acionados, conforme apresentado na Figura 25.

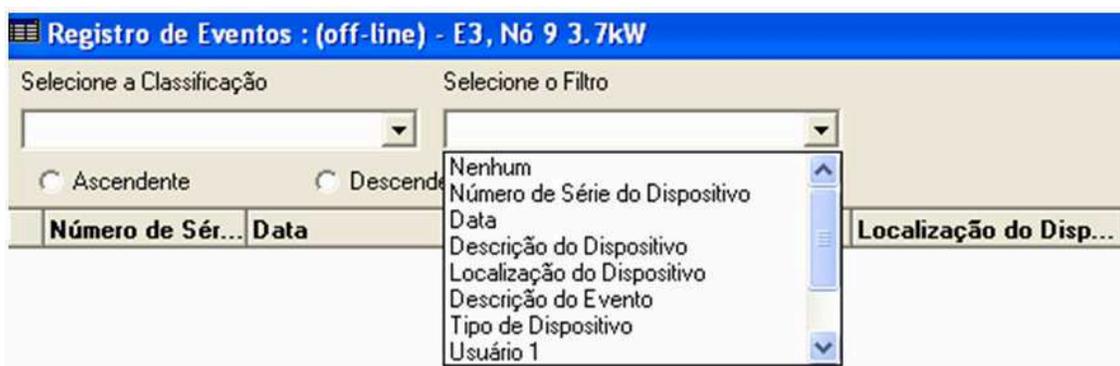


Figura 25 – Registro de eventos

Para auxiliar o controle produtivo e de manutenção, o aplicativo fornece as informações:

- tempo acumulado de operação;
- tempo de parada;
- número de partidas;
- data e horário do último rearme;
- porcentagem da capacidade térmica utilizada;
- tempo para desligamento (*trip*);
- tempo para rearmar em caso de desligamento (*trip*);
- registro dos últimos cinco eventos de desarme.

Um dos principais diferenciais da rede DeviceNet® é a configuração automática após substituição de dispositivos – ADR (*Auto Device Recovery*), que após a retirada de um dispositivo já configurado da rede, se for reposto um dispositivo idêntico ao anterior, a função ADR irá realizar o *download* de todas as parametrizações antigas realizadas no dispositivo retirado, uma programação automática das características do dispositivo, conforme ilustrado na Figura 26.



Figura 26 – Função ADR da rede DeviceNet®

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS

As Tabelas 38 a 41 apresentam resumos dos custos de engenharia, instalação, materiais e treinamento, respectivamente, fornecendo dados para análise das variações encontradas em cada configuração.

Tabela 38 – Tabela resumo de custos de engenharia

Descrição	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3	OPÇÃO 4
	CCM com fiação a botões [h]	CCM com fiação a <i>Flex I/O</i> e botões [h]	CCM com fiação a <i>Flex I/O</i> e IHM [h]	CCM inteligente com rede e IHM [h]
<b>Engenharia</b>				
Diagrama unifilar da instalação	12,50	12,50	12,50	12,50
Diagrama funcional do acionamento	12,50	12,50	8,33	6,25
Projeto do CCM e interligações internas	16,67	16,67	8,33	4,17
Projeto das interligações na sala elétrica entre CCM e mesa de comando	25,00	2,08	2,08	2,08
Projeto elétrico do CLP, <i>Flex I/O</i> e IHM	0,00	12,50	12,50	4,17
Especificação de materiais	25,00	33,33	16,67	12,50
Programação do CLP / IHM	0,00	25,00	33,33	37,50
<b>Total de horas [h]</b>	<b>91,67</b>	<b>114,58</b>	<b>93,75</b>	<b>79,17</b>
<b>Engenheiro a R\$31,00 / h</b>				
<b>Valor total [R\$]</b>	<b>2.841,66</b>	<b>3.552,08</b>	<b>2.906,25</b>	<b>2.454,17</b>

Tabela 39 – Tabela resumo de custos de instalação e montagem

Descrição	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3	OPÇÃO 4
	CCM com fiação a botões [h]	CCM com fiação a <i>Flex I/O</i> e botões [h]	CCM com fiação a <i>Flex I/O</i> e IHM [h]	CCM inteligente com rede e IHM [h]
<b>Montagem e instalação</b>				
Cabos de potência	25,00	25,00	25,00	25,00
Cabos de controle e comando entre CCM e mesa de comando	88,54	4,17	4,17	4,17
Infra-estrutura elétrica entre CCM e mesa de comando	44,27	4,17	4,17	4,17
Fabricação de CCM e mesa de comando	333,33	328,13	239,58	156,25
Partida e comissionamento	166,67	164,06	119,79	78,13
<b>Total de horas [h]</b>	<b>166,67</b>	<b>164,06</b>	<b>119,79</b>	<b>78,13</b>
<b>Engenheiro a R\$31,00 / h</b>				
<b>Total de horas [h]</b>	<b>657,81</b>	<b>525,52</b>	<b>392,71</b>	<b>267,71</b>
<b>Eletricista a R\$8,89 / h</b>				
<b>Valor total [R\$]</b>	<b>11.014,82</b>	<b>9.757,82</b>	<b>7.204,72</b>	<b>4.801,80</b>

Tabela 40 – Tabela resumo de custos de materiais

Descrição	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3	OPÇÃO 4
	CCM com fiação a botões [R\$]	CCM com fiação a <i>Flex</i> I/O e botões [R\$]	CCM com fiação a <i>Flex</i> I/O e IHM [R\$]	CCM inteligente com rede e IHM [R\$]
<b>Materiais</b>				
Cabos alimentadores e de motores	26.250,00	26.250,00	26.250,00	26.250,00
Cabos e eletrodutos entre CCM e mesa de comando	72.860,00	2.010,00	2.010,00	2.010,00
Controle de controle de motores (CCM)	66.725,00	76.150,00	76.150,00	5.5575,00
Mesa de comando, botões, sinaleiros e bornes	8.275,00	8.275,00	2.575,00	2.575,00
CLP, IHM e <i>Flex</i> I/O	0,00	23.000,00	15.500,00	15.500,00
Programação do CLP / IHM	0,00	10.000,00	15.000,00	15.000,00
	<b>Valor total [R\$]</b>	<b>174.110,00</b>	<b>145.685,00</b>	<b>137.485,00</b>
		<b>116.910,00</b>		

Utilizando um sistema de controle computadorizado podem ser necessários os treinamentos de pessoal para operação e manutenção, visando equalizar as necessidades de conhecimento técnico e dos recursos funcionais dos equipamentos. A Tabela 41 demonstra os valores dos cursos dos equipamentos de automação.

Tabela 41 – Tabela de referência e valores dos cursos dos equipamentos de automação (cortesia: Rockwell Automation)

Descrição	Custo (R\$)	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3	OPÇÃO 4
		Profissionais treinados			
PowerFlex 70/700					
Configuração e manutenção (CCA03B)	1.500,00	1	1	1	1
Redes Ethernet®, ControlNet® e DeviceNet® no ControlLogix® (COMBO1)	3.240,00		1	1	1
ControlLogix® configuração e manutenção, usando RSLogix5000® (CCP16B)	2.750,00		1	1	1
FactoryTalk View SE® arquitetura (FTS-200B)	1.650,00			1	1
<b>Valor total [R\$]</b>		<b>1.500,00</b>	<b>7.490,00</b>	<b>9.140,00</b>	<b>9.140,00</b>

A análise dos custos envolvidos em cada configuração é obtida a partir da Tabela 42 com o resumo de custos, fornecendo dados para análise das variações encontradas em cada configuração.

Tabela 42 – Tabela unificada com resumo de custos

Descrição	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3	OPÇÃO 4
	CCM com fiação a botões	CCM com fiação a <i>Flex I/O</i> e botões	CCM com fiação a <i>Flex I/O</i> e IHM	CCM inteligente com rede e IHM
<b>Engenharia [R\$]</b>	<b>2.841,66</b>	<b>3.552,08</b>	<b>2.906,25</b>	<b>2.454,17</b>
<b>Montagem e instalação [R\$]</b>	<b>11.014,82</b>	<b>9.757,82</b>	<b>7.204,72</b>	<b>4.801,80</b>
<b>Materiais [R\$]</b>	<b>174.110,00</b>	<b>145.685,00</b>	<b>137.485,00</b>	<b>116.910,00</b>
<b>Treinamento [R\$]</b>	<b>1.500,00</b>	<b>7.490,00</b>	<b>9.140,00</b>	<b>9.140,00</b>
<b>Valor total [R\$]</b>	<b>188.466,29</b>	<b>166.484,90</b>	<b>156.735,97</b>	<b>133.305,97</b>

Segue a Figura 27 ilustrando o gráfico com os resultados unificados, para disponibilizar uma melhor visualização dos resultados e possíveis comparações.

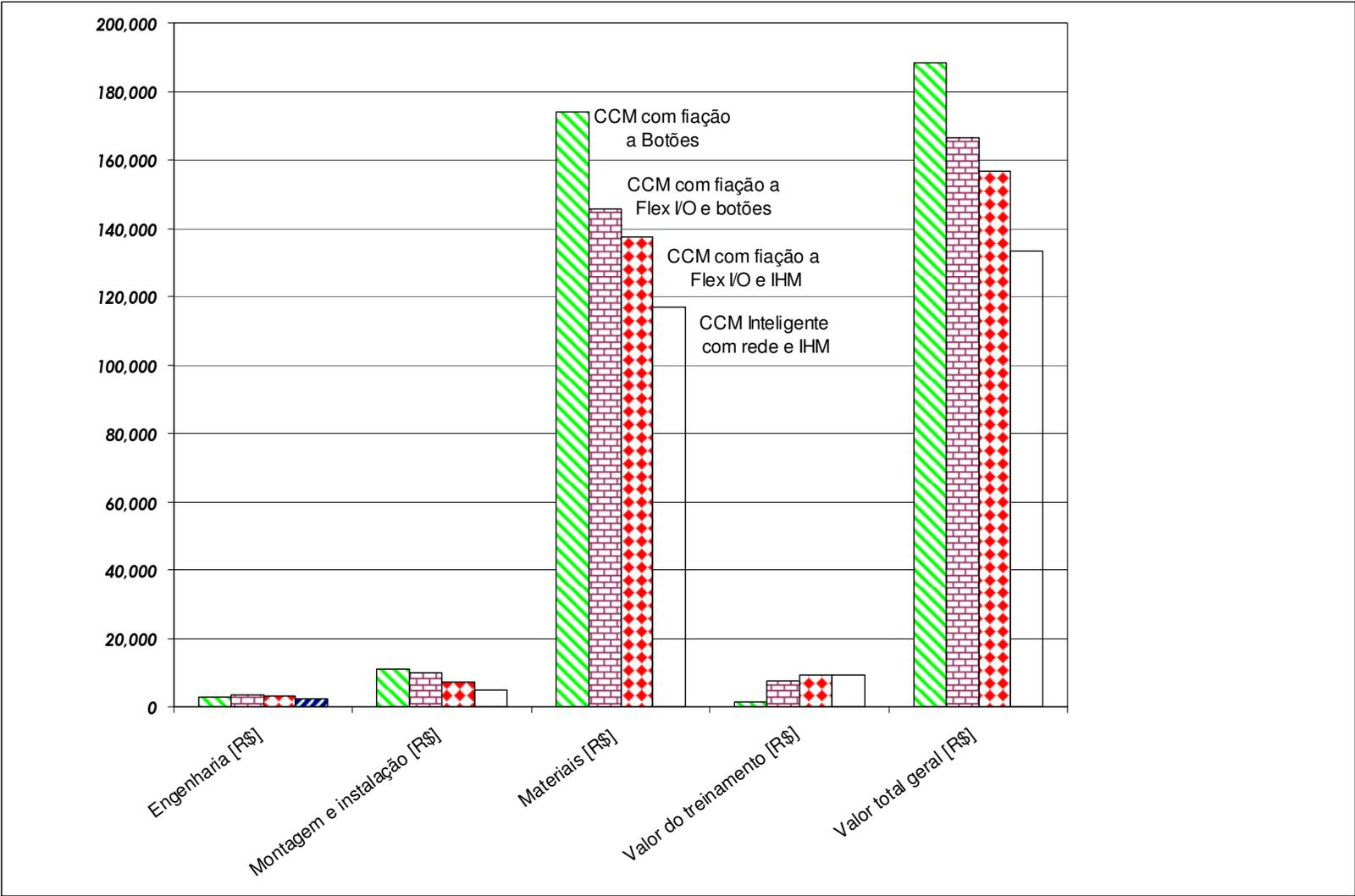


Figura 27 – Gráfico com os resultados unificados

## 4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A utilização do CCMI (IntelliCENTER®) é indicada devido aos ganhos operacionais e ao custo de instalação que é geralmente menor do que o seu equivalente CCM com E/S tradicionais. Os usuários percebem as economias em materiais de instalação, mão de obra e aumento da disponibilidade de funcionamento dos equipamentos.

A automação de processos industriais é uma das ferramentas mais eficientes para as indústrias superarem o maior de seus desafios: ganhar competitividade. Em tempos de mercado cada vez mais disputado, de concorrência acirrada e definida por detalhes, a automação de processos industriais torna a empresa mais ágil, diminuindo os custos do processo de produção (WEG, 2003).

No mundo atual, é preciso produzir produtos com qualidade a um custo que seja competitivo no mercado. Os custos podem ser minimizados nos seguintes pontos:

- custos de investimentos;
- custos operacionais (manutenção e reparos);
- custo da perda de produção devido à parada de máquinas/planta;
- economia de custos de projeto, instalação e comissionamento:
  - projeto – o número de componentes é menor, possuindo múltiplas funções integradas, diminuindo o espaço necessário;
  - instalação – redução da fiação, número de conexões e espaço da sala de painéis elétricos;
  - comissionamento – pré-comissionamento, pois seu comando pode ser testado via aplicativo próprio;
  - intensifica a proteção do motor com alta flexibilidade;
  - redução de componentes (funções agregadas ao relés inteligentes);
  - padronização das funções de comando via programa (segurança e confiabilidade);
  - alta flexibilidade na seleção das funções de comando;
  - vantagens operacionais (geração de relatórios e diagnósticos);
  - versatilidade e expansibilidade (possibilita expansão futura).

As análises foram baseadas nas mesmas solicitações funcionais do comando do acionamento em qualquer uma das configurações, em caso de alteração nas quantidades de acionamentos ou em algumas das configurações exigidas, os resultados podem variar, gerando novas referências de custos.

Na simulação foram considerados acionamentos de 25 motores de corrente alternada trifásico, assíncrono do tipo gaiola de esquilo de 5 CV (3,7 kW) / 440 V<sub>CA</sub> ~ 60 Hz, com as seguintes funções: disjuntor, contator e relé de térmico; acionamento em campo: botão liga/desliga; sinalização em campo: ligado, desligado, defeito e pronto para partir (gaveta conectada e disjuntor de potência ligado); botão de emergência na porta do CCM; proteção e sinalização externa de aquecimento do motor com sensor PTC; proteção e sinalização externa contra fuga terra.

#### Opção 1 (CCM convencional interligado por multicabos)

Pode-se concluir que, comparativamente aos demais, esse caso seria a pior opção, pois é necessário um elevado número de equipamentos, fiações e conexões, bem como os maiores custos de infra-estrutura e engenharia.

Essa opção é recomendada para plantas com baixa tecnologia, pois não utiliza equipamentos de automação (CLP, IHM e redes). Sua utilização é aplicável em processos com poucos acionamentos ou em processos que seu custo de parada não interfere no funcionamento da planta.

A supervisão e comando são realizados via botões e sinaleiros, não oferecendo recursos preditivos, possuindo grande número de equipamentos e conexões que oferecem possíveis pontos de falhas.

Destaca-se como ponto positivo dessa arquitetura, que em caso de falha ou rompimento de um circuito de controle, somente o acionamento com problema será afetado, permanecendo os demais em funcionamento.

#### Opção 2 (CCM convencional interligado por cabo de rede com mesa de comando equipada com botoeiras)

Pode-se concluir que é uma configuração melhorada da opção 1, pois reduz os custos de infra-estrutura e conexões realizadas em campo, onde normalmente ocorrem a maior quantidade de defeitos, porém se mantém necessário o elevado número de equipamentos, fiações e conexões internas, bem como os maiores

custos de engenharia necessários para programação do CLP e bastidor de E/S remota.

Essa opção é recomendada para plantas que possuem como padrão o conceito da opção 1, porém permite a instalação da mesa de comando a uma grande distância do CCM, conectando os dois via rede de comunicação ou em plantas que não utilizam funções de proteção e monitoramento avançados (relé de fuga terra, PTC *et cetera*) ou ainda em locais que não aceitam redes de comunicação para controle de dispositivos e acionamentos.

A supervisão e comando são realizados via botões e sinaleiros, não oferecendo recursos preditivos, possuindo grande número de equipamentos e conexões que oferecem possíveis pontos de falhas, tendo como melhoria os estados dos acionamentos disponíveis em um CLP, que pode se comunicar com outros subsistemas, porém é necessário o pessoal qualificado para acessar os equipamentos em caso de manutenção.

Em caso de falha ou rompimento da rede de comunicação, todos os acionamentos serão afetados.

### Opção 3 (CCM convencional interligado por cabo de rede com mesa de comando equipada com IHM)

Pode-se concluir que é uma variação com mais automação da opção 2, pois reduz os custos de infra-estrutura e conexões realizadas em campo, porém se mantém necessário o elevado número de equipamentos, fiações e conexões internas, bem como os custos de engenharia necessários para programação do CLP, bastidor de E/S remota e inclusão de IHM.

Essa opção é recomendada para plantas que possuem processos intertravados que necessitam de visualização apresentada na IHM, conectando o CLP e IHM via rede de comunicação.

A supervisão e comando são realizados na IHM, não oferecendo recursos preditivos, possuindo grande número de equipamentos e conexões que oferecem possíveis pontos de falhas, tendo como melhoria os estados dos acionamentos disponíveis na tela da IHM e no CLP, que pode se comunicar com outros subsistemas, porém é necessário o pessoal qualificado para acessar os equipamentos em caso de manutenção.

Em caso de falha ou rompimento da rede de comunicação, todos os acionamentos serão afetados.

#### Opção 4 (CCM inteligente interligado por cabo de rede com mesa de comando equipada com IHM)

Nessa opção de ligação pode-se observar uma redução do custo dos itens mais significativos: instalação e materiais. Essa redução é devido aos equipamentos necessários para o funcionamento do CCM inteligente, pois seu relé de sobrecarga inteligente (E3+) possui todas as proteções solicitadas e estão incorporados a um único equipamento que possui comunicação com a rede DeviceNet®. Uma vez utilizando uma rede de comunicação, todos os relés são conectados com somente um conjunto de cabos, reduzindo também o número de cabos e conexões necessárias.

As reduções mais significativas foram observadas nos itens relacionados à infra-estrutura elétrica, fiação de controle, mão-de-obra para instalação, tempo de partida e redução de equipamentos periféricos para se obter as funções de proteção já incorporadas nas partidas inteligentes.

Cabe salientar que utilizando uma menor quantidade de equipamentos, reduzem-se possíveis fontes de defeitos e custos de estoque.

O uso dessa solução se apresentou como a melhor solução, pois agrega as melhores características técnicas dos painéis elétricos: exigência de continuidade de operação, alto nível de segurança aos operadores, inserção e retirada de circuitos com barramento energizado, redução de equipamentos auxiliares, cabos e conexões, bem como a disponibilidade de monitoramento e controle da produção, com a utilização de relés inteligentes conectados à rede DeviceNet®.

Além dos valores envolvidos na aquisição e partida, também devem ser observados os ganhos operacionais do sistema inteligente, pois permite via supervisor os diagnósticos instantâneos, alarmes e desligamentos que localizam os defeitos nos acionamentos controlados pelo CCMI, de modo que se possa saber o que causou o desligamento e onde interferir.

Como ponto negativo existe a necessidade de treinamento para fornecer o suporte técnico necessário para operação do sistema automatizado que necessita de possíveis atualizações caso hajam alterações funcionais ou de equipamentos e programação.

O aplicativo supervisorio conectado à rede DeviceNet®, fornece informações de cada componente, permitindo a verificação das tendências de comportamento e funcionamento dos equipamentos, visualização do retrato das condições de operação e avaliação dos dados das falhas, podendo estabelecer e programar manutenções preventivas, minimizando assim os custos envolvidos com quebras e paradas não desejadas, aumentando a confiabilidade dos equipamentos e também o fator de utilização do processo. Obtendo, assim, um índice de maior produtividade e menor custo do produto final.

#### Ganhos operacionais

É importante mensurar os ganhos operacionais de recuperação da produção em caso de falhas, elevando da disponibilidade produtiva. Para verificar essas características segue uma comparação estimada de tempos gastos na resolução de um problema, sendo a parada do acionamento causada por um defeito de sobrecarga de um do motor, conforme ilustrado na Tabela 43.

Tabela 43 – Tabela de tempos para de normalização em caso de manutenção

<b>OPÇÃO 1</b>	<b>OPÇÃO 2</b>	<b>OPÇÃO 3</b>	<b>OPÇÃO 4</b>
<b>CCM com fiação a botões</b>	<b>CCM com fiação a Flex I/O e botões</b>	<b>CCM com fiação a Flex I/O e IHM</b>	<b>CCM inteligente com rede e IHM</b>
<b>Seqüência de procedimentos realizados</b>			
Localizar o relé de sobrecarga, que falhou (1 min)	Localizar o relé de sobrecarga, que falhou (1 min)	Localizar o relé de sobrecarga, que falhou (1 min)	Identificação instantânea do motor e motivo do desarme (1 min)
Identificar o motor associado, via diagramas (5 min)	Identificar o motor associado, via diagramas (5 min)	Identificar o motor associado, via IHM (1 min)	
Deslocamento e verificação do motor (15 min)	Deslocamento e verificação do motor (15 min)	Deslocamento e verificação do motor (15 min)	
Estabelecer o motivo do desarme (10 min)	Estabelecer o motivo do desarme (10 min)	Estabelecer o motivo do desarme (10 min)	
Acionar o motor (1 min)	Acionar o motor (1 min)	Acionar o motor (1 min)	Acionar o motor (1 min)
Deslocamento e verificação do motor se funcionamento	Deslocamento e verificação do motor se funcionamento	Deslocamento e verificação do motor se funcionamento	Monitorar tendências de comportamento
<b>Estimativa de tempo para as tarefas necessárias de análise de falha por sobrecarga de um motor</b>			
32 min (0,53 h)	32 min (0,53 h)	28 min (0,46 h)	2 min (0,03 h)

Como base nos tempos obtidos na Tabela 43, utiliza-se os valores de receita estimados por hora de produção obtida na Tabela 2 e obtém-se a perda de receita em caso de defeito em um motor, não sendo computados os valores de mão de obra ociosa, conforme visto na Tabela 44.

Tabela 44 – Tabela resumo de custos de normalização em caso de manutenção

Descrição	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3	OPÇÃO 4
	CCM com fiação a botões	CCM com fiação a <i>Flex</i> //O e botões	CCM com fiação a <i>Flex</i> //O e IHM	CCM inteligente com rede e IHM
Tempo total para manutenção (h)	0,53	0,53	0,46	0,03
Valor de hora de produção (R\$)	<b>R\$ 11.909,74</b>			
<b>Valor de receita perdido</b>	<b>R\$ 6.312,16</b>	<b>R\$ 6.312,16</b>	<b>R\$ 5.478,48</b>	<b>R\$ 357,29</b>

A indústria sucroalcooleira trabalha em regime contínuo, em regime de 24 horas por dia, durante aproximadamente os 200 dias da safra, caso haja qualquer paralisação, as horas paradas afetam diretamente o desempenho financeiro do processo.

Essa análise foi realizada com o desligamento por proteção do relé de sobrecarga, sem necessidade de substituição do mesmo e conseguindo identificar o motivo do problema e sua correção em 10 minutos, porém existem casos que o tempo de identificação e correção é superior ao estudado.

Quando não existem informações dos dispositivos via rede, o tempo utilizado para a identificação do motivo da falha está diretamente dependente da capacidade intelectual do electricista, já na opção de CCMI, o aplicativo disponibiliza gráficos de tendência, alarmes e registro de operações realizadas auxiliando a identificação da falha.

Para casos que necessitem de substituição de equipamentos, os ganhos da rede DeviceNet® são mais destacados, pois a mesma possibilita ativar uma função de configuração automática – ADR (*Auto Device Recovery*), que após a retirada de um dispositivo já configurado da rede, se for repostado um dispositivo idêntico ao anterior, a função ADR irá realizar o *download* de todas as parametrizações antigas realizadas no dispositivo retirado, realizando a programação automática das características do dispositivo.

Com isso, pode-se concluir que o retorno do investimento será obtido devido ao ganho da disponibilidade de horas de máquinas em funcionamento. Esse efeito é diretamente proporcional em processos contínuos, onde a hora parada da máquina afeta diretamente o volume de produção.

Também pode-se concluir que haverá ganho na estratégia de manutenção, pois serão computados os tempos de operação dos motores e observado se seu comportamento está dentro das faixas aceitáveis como padrão.

## CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1. CONCLUSÕES

Existe uma forte tendência no mercado para a utilização de CCM inteligente, devido à possibilidade de integração com os meios de supervisão gerencial e com controladores de processo como CLP, IHM e SCADA.

A simulação foi realizada com quatro diferentes configurações de equipamentos e montagem. Observando os dados referentes aos custos de engenharia, instalação e materiais é possível identificar os benefícios da utilização do CCMI, dentre eles os mais notáveis são:

- redução dos custos de projeto, instalação e comissionamento;
- redução de quantidade de equipamentos;
- visualização das condições de operação;
- indicação e registro de alarmes e falhas (permitindo que a manutenção opere de maneira preditiva, minimizando a perda de produção devido à parada de máquinas/planta);
- conjunto de documentação eletrônica (desenhos e manuais).

Com a necessidade de redução de custos, aumento da disponibilidade das máquinas e visando atender as exigências de segurança, conclui-se que o CCMI (opção 4 do estudo) fornece as melhores características em acionamentos elétricos e ganhos operacionais no controle produtivo.

A escolha das opções e configurações de ligações é determinada pelas exigências técnicas do projeto proteção, comando e sinalização; bem como a filosofia de automação empregada.

Existem projetos que, apesar das vantagens demonstradas com o uso de CCMI, a falta de mão de obra qualificada para operar o sistema ou a desconfiança no funcionamento do sistema de automação baseado no acionamento de motores via sinais de rede, gera a utilização de padrões com poucos recursos (CCM convencional interligado por multicabos) ou sistemas de automação híbridos (junção das opções de CCM convencional interligado por cabo de rede com mesa de

comando equipada com botoeiras e CCM inteligente interligado por cabo de rede com mesa de comando equipada com IHM).

Podem ser observados em outros casos, que realizando alterações físicas das condições estudadas (redução da distância entre CCM e mesa de comando) ou lógicas (retirada de proteções, sinalizações e comandos) podem gerar valores diferentes, sugerindo o uso de sistema sem automação, porém os ganhos operacionais do CCMI superam ao longo do tempo as diferenças de aquisição que possam ser encontradas.

## 5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Esse trabalho foi desenvolvido com simulações da utilização de relés de sobrecarga convencionais e inteligentes conectados em rede DeviceNet®, porém existem diversas tecnologias de redes de comunicação industrial disponíveis no mercado, podendo gerar diferentes desempenhos e uma extensa faixa de equipamentos que possuem sensibilidades e recursos agregados similares.

Os acionamentos elétricos que originalmente possuíam somente funções de seccionamento, proteção e comando das cargas, estão agregando funções de controle produtivo, conexão com redes de comunicação e múltiplas funções de proteção (sensor PTC, monitor de corrente e tensão *et cetera*). O desenvolvimento dos produtos é constante, gerando aumento de fluxo de dados e alterando as características das limitações atuais.

Como sugestão de continuidade a simulação de utilização de outras redes industriais PROFIBUS®, MODBUS® e Ethernet®; identificando as diferenças de desempenho, as limitações técnicas e produtos disponíveis para comunicação com as mesmas.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (BRASIL). **NBR IEC 60439-1**. Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.
- BLAIR, D. D.; DOAN, D. R.; JENSEN, D. L.; KIM, T. K. Networked intelligent motor-control system. **IEEE Industry Applications Magazine**, v. 7, n. 6, p. 18-25, November/December 2001. DOI: 10.1109/2943.959112.
- CABRERA ENERGETICA. Site corporativo, 2010. Disponível em [http://www.grupocabrera.com.br/cabrera\\_energetica.htm](http://www.grupocabrera.com.br/cabrera_energetica.htm)
- CABRERA ENERGETICA. Site institucional, 2010. Disponível em <http://cabreraenergetica.com.br/php/>
- COSAN. **Carta financeira trimestral**: nov, dez, jan 2008. São Paulo: COSAN S/A, 2008. Disponível em [http://www.acionista.com.br/home/cosan/resultados\\_3T08.pdf](http://www.acionista.com.br/home/cosan/resultados_3T08.pdf).
- COSAN. **O que a cana-de-açúcar e o etanol representam na matriz energética do Brasil?** São Paulo: COSAN S/A, 2010. Disponível em [http://www.mzweb.com.br/cosan2009/web/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&tipo=26487&conta=45](http://www.mzweb.com.br/cosan2009/web/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=26487&conta=45).
- DECOTIGNIE, J.-D. The many faces of industrial ethernet. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 3, n. 1, p. 8-19, March 2009. DOI: 10.1109/MIE.2009.932171.
- DEUS, V. S.; AMORIM, E.; NATAL, E.; RABELO, F. A.; REIS, M. O.; GUEDES, C. A. Desenvolvimento de novo controle e gerenciamento para o processo dos fornos de recozimento em caixa nº 1 da CSN. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, v. 3, n. 3, p. 46-51, 2007. Disponível em <http://www.abmbrasil.com.br/materias/download/811202.pdf>.
- KNIHS, V. L.; DALLAGNOLO, G. C.; PRADI, G. M. Redes de comunicação para automação industrial. **WEG em Revista**, v. 1, n. 4, p. 12-14, 2000. Disponível em <http://www.weg.net/files/products/4-345.pdf>.
- HENAN HONGYE QUIMICA COMPANHIA QUIMICA LIMITADA. **Descrição do produto Furfural**. Disponível em [http://www.hongyechemical.com/Portugal/PDF/furfural\\_pt\\_Techinfo.pdf](http://www.hongyechemical.com/Portugal/PDF/furfural_pt_Techinfo.pdf)

- LAVILL. Conjuntos de Manobra e Comando de Baixa Tensão. Painéis Elétricos e CCMs de Baixa Tensão. Catálogo. Disponível em <http://www.lavill.com.br/catalogos/c2.pdf>. 2008.
- LARA, B. R. F.; SILVA, L. D. C.; NOLASCO, O. A. Q.; GALLO, R. C.; LIMA, R. S. M. Modernização do sistema de controle da ustulação na Votorantim Metais. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 6, n. 2, p. 103-107, 2009. Disponível em <http://www.abmbrasil.com.br/materias/download/1322326.pdf>.
- MEULENBROEK, H.; FREEMAN, P. IMCS versus conventional MCC. Are the benefits realised in practice? In: PCIC Europe, 2009. PCIC EUROPE '09. **Conference Record**. IEEE, Barcelona, 26-28 May 2009. p. 181-186.
- ODVA, **Planning and Installation, Manual DeviceNet Cable System**, 2003, PUB00027R1  
[http://www.odva.org/portals/0/library/Publications\\_Numbered/PUB00027R1\\_Cable\\_Guide\\_Print\\_Copy.pdf](http://www.odva.org/portals/0/library/Publications_Numbered/PUB00027R1_Cable_Guide_Print_Copy.pdf).
- PIERETTI, C. L.; FRANKLIN, E. A.; KIRSTEN, F.; PERES, R. P. **Usina termelétrica: Setor sucroalcooleiro**. 2003. 58f. Monografia (Disciplina Termodinâmica – Curso de Engenharia Elétrica) Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2003.
- ROCKWELL AUTOMATION. **CENTERLINE® 2500 motor control centers**. Selection guide. Report n. 2500-SG001B-EN-P, 2009. Disponível em <http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/2500-sg001-en-p.pdf>.
- ROCKWELL AUTOMATION. Conceito de CCM inteligente. **Automation Today América Latina**, v. 1, n. 1, p. 13, 1999. Disponível em [http://br.rockwellautomation.com/applications/ga/gabr.nsf/4a87ff3bf2c03cc38525646f0072ffa9/77c624b00617d0c4cc2570670010e7fb/\\$FILE/Automation%20Today%20No.01.pdf](http://br.rockwellautomation.com/applications/ga/gabr.nsf/4a87ff3bf2c03cc38525646f0072ffa9/77c624b00617d0c4cc2570670010e7fb/$FILE/Automation%20Today%20No.01.pdf).
- ROCKWELL AUTOMATION. **Class II motor control centers with I/O racks**. Significant cost savings and increased level off efficiency and quality can be achieved when a motor control center manufacturer mounts and wires input/output racks. Publication. Report n. 2100-WP002-EN-P, 2009. Disponível em

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/2100-wp002\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/2100-wp002_-en-p.pdf)

ROCKWELL AUTOMATION. **Calendário de treinamento técnico - Julho – Dezembro** **2010.**

<http://br.rockwellautomation.com/applications/ga/GSBr.nsf/pages/Treinamento>

SERT-SP – SECRETARIA DO EMPREGO E RELAÇÕES DO TRABALHO (SÃO PAULO). **Banco de dados digital de consulta a salários.** Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Emprego e Relações do Trabalho. Disponível em <http://www.salariometro.sp.gov.br/>.

SANTOS, M. M. D.; VASQUES, F.; STEMMER, M. R. Avaliação das propriedades temporais de duas redes de controle: CAN e PROFIBUS. Acta Scientiarum. Technology, v. 25, n. 2, p. 193-201, 2003. Disponível em <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/2210/1332>.

SIEMENS. **Alta produtividade, máxima eficácia e flexibilidade:** aproveite ao máximo a energia da cana-de-açúcar. Soluções integradas em automação, energia e infra-estrutura. Siemens answers. Setor Sucroalcooleiro. S&E/2353-CA. Agosto de 2008. Disponível em [http://www.siemens.com.br/medias/FILES/5296\\_20081103130701.pdf](http://www.siemens.com.br/medias/FILES/5296_20081103130701.pdf).

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR. **Mercado brasileiro de açúcar.** São Paulo: UNICA, 2010. Disponível em <http://www.unica.com.br>.

VALENTIM, R. A. M.; MORAIS, A. H.; SOUZA, V. S. V.; ARAÚJO JÚNIOR, H. B.; BRANDÃO, G. B.; GUERREIRO, A. M. G. Rede de controle em ambiente hospitalar: um protocolo multíciclos para automação hospitalar sobre IEEE 802.3 com IGMP *snooping*. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 19, p. 1-15, 2009. Disponível em <http://revistavirtual.unisal.br:81/seer/ojs-2.2.3/index.php/123/article/view/109/107>.

WEG. **Centros de controle de motores de baixa tensão.** 921.43/062008. Jaraguá do Sul: WEG, 2008.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Leilões de fontes alternativas e de reserva comercializam 1159,4 MW médios de 89 usinas.** Brasília: ANEEL, 2010. Disponível em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticia.cfm?Identidade=3541&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticia.cfm?Identidade=3541&id_area=90).

COSAN COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES. **O que a cana-de-açúcar e o etanol representam na matriz energética do Brasil?** São Paulo: COSAN S/A, 2010. Disponível em [http://www.mzweb.com.br/cosan2009/web/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&tipo=26487&conta=45](http://www.mzweb.com.br/cosan2009/web/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=26487&conta=45).

COSAN COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES. **Relação com investidores.** São Paulo: COSAN S/A, 2010. Disponível em <http://www.b2i.us/profiles/investor/fullpage.asp?f=1&BzID=1173&to=cp&Nav=0&LangID=3&s=0&ID=3875>

SENSE ELETRÔNICA LTDA. **Rede de comunicação DeviceNet®.** Introdução Teórica. São Paulo: Sense, 2001.

SMAR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. **Tutorial DeviceNet®.** Sertãozinho: Smar, 2010 Disponível em: <http://www.smar.com/brasil2/devicenet.asp>.

SEIXAS-FILHO, C. **DeviceNet.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Eletrônica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: [http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/R2\\_DeviceNet.pdf](http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/R2_DeviceNet.pdf).

ROCKWELL AUTOMATION. **Curso de rede DeviceNet:** manual de configuração e manutenção. São Paulo: IACET – USP, 2007.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Renan Piazzon Peres  
Taubaté, Outubro de 2010.

## ANEXOS

### ANEXO 1 - PROCESSO PRODUTIVO DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

A seguir, o processo de produção de açúcar e álcool é descrito resumidamente, com base em material disponibilizado pela COSAN (2010), de acordo com o fluxograma ilustrado na Figura 28.

O açúcar é essencialmente constituído por uma substância chamada sacarose, presente em plantas como a cana-de-açúcar.

Para obter o açúcar em sua forma comercial, é necessário que se extraia a sacarose, separando-a dos demais componentes da planta. A cana-de-açúcar é constituída basicamente de água (65–75%), sólidos (11–18%), fibras (8–14%) e pequenas quantidades de ácidos orgânicos e inorgânicos, proteínas, amido, ceras, graxas e corantes. Nos sólidos incluem-se: sacarose, glicose, frutose e sais.

A colheita da cana pode ser feita manual ou mecanicamente. No primeiro caso, a cana é obtida inteira e no segundo caso, obtêm-se pedaços de cana de açúcar de 20 a 25 cm de comprimento.

A seguir, as etapas do processo são explicadas e identificadas pela numeração apresentada na Figura 28.

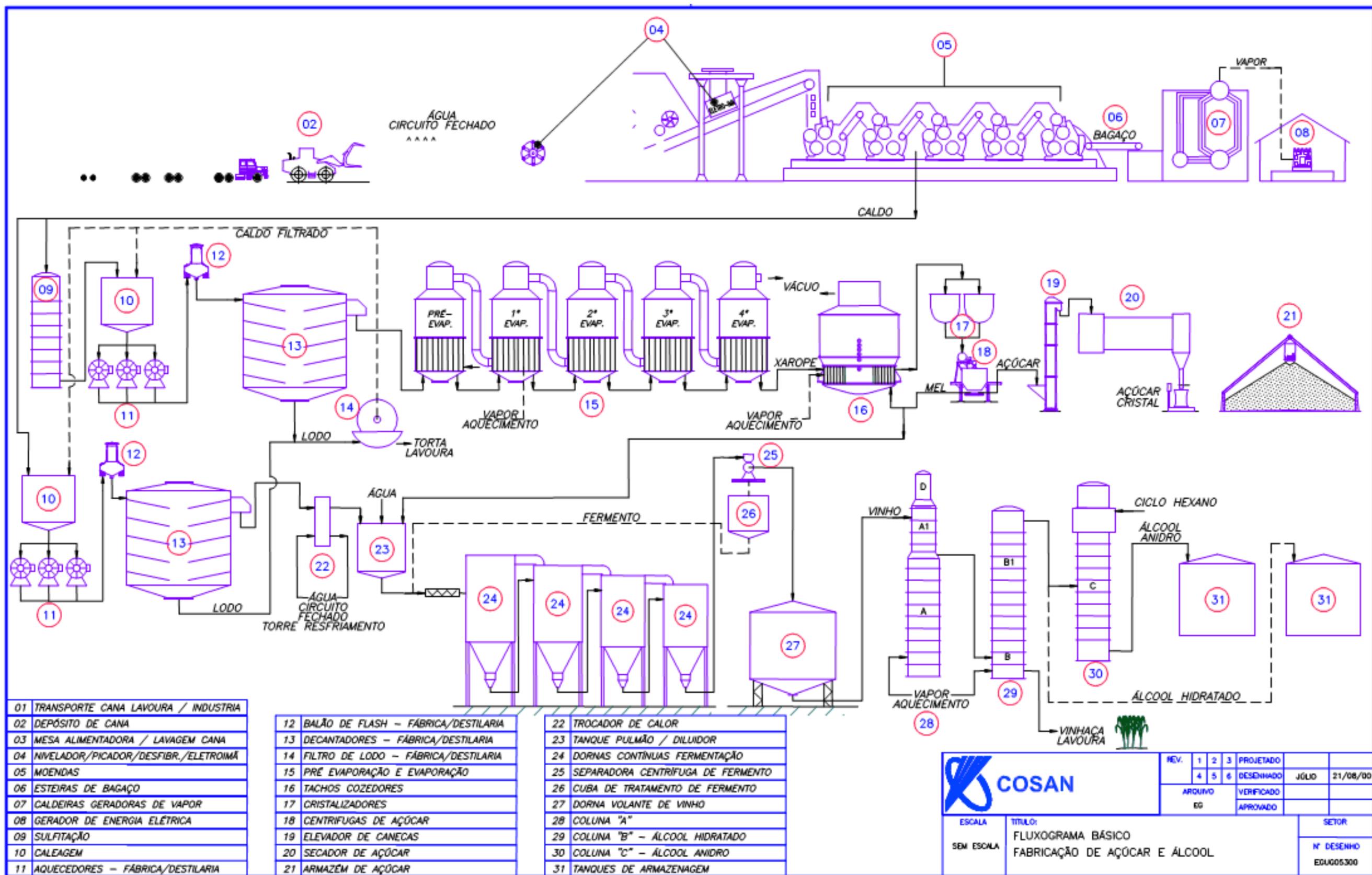


Figura 28 – Fluxograma da produção de açúcar e álcool (Cortesia: Cosan)

## **Etapas anteriores à fabricação do açúcar e do álcool**

- Transporte e pesagem (01)

A cana é transportada às indústrias por meio de caminhões que são pesados antes e após o descarregamento para se obter o peso de cana recebida. O objetivo de se pesar a cana é permitir o controle agrícola, o controle da moagem e o cálculo de rendimento industrial. Além de pesada, a cana é também analisada para que se possam definir características como a quantidade de açúcares, de água e de fibra nela contida, a partir das quais o pagamento da cana é efetuado.

- Descarregamento e estocagem de cana (02)

O descarregamento da cana pode ser feito diretamente nas mesas alimentadoras da moenda por meio de guindastes do tipo hilo ou no pátio de estocagem para posterior alimentação no caso de falhas de transporte ou como “pulmão” para moagem no período noturno. A cana colhida mecanicamente não deve ser estocada, sendo assim alimentada de forma direta. De maneira a evitar a decomposição bacteriológica, recomenda-se a renovação diária do estoque.

- Alimentação e Lavagem (03)

A cana descarregada nas mesas alimentadoras é lavada ou não, dependendo da usina. Essa lavagem tem o intuito de retirar parte de matérias estranhas, como terra e areia, de modo a obter um caldo de melhor qualidade e evitar o desgaste excessivo dos equipamentos. A cana colhida mecanicamente não é lavada, pois, devido à sua forma de toletes, o arraste de sacarose pela água seria muito grande.

- Preparo da cana (04)

Após a lavagem, a cana é conduzida por meio de esteiras rolantes para um jogo de facas niveladoras, seguido do picador, do desfibrador e do eletroímã. Essa etapa é conhecida como preparo da cana. O nivelador proporciona uma alimentação uniforme. O picador e o desfibrador têm como objetivo aumentar a densidade, aumentando a capacidade de moagem, e romper ao máximo as células para forçar uma maior eficiência de extração do açúcar. Já o eletroímã visa retirar possíveis

materiais ferrosos que possam vir com a cana para evitar a quebra dos rolos das moendas.

- Moagem (05)

A extração dos sólidos da cana é feita pelo esmagamento nos rolos das moendas que exercem forte pressão. As moendas separam água e sólidos da fibra que formará o bagaço. A sacarose está dissolvida no caldo, portanto, o objetivo da moagem é extrair a maior quantidade possível de sólidos da cana. Na prática, extrai-se 94 a 96% do caldo da cana, que é utilizado para produzir açúcar ou álcool.

Um segundo objetivo da moagem, contudo de extrema importância, é a produção de um bagaço final com baixa umidade para ser queimado nas caldeiras visando a produção de energia mecânica na forma de vapor de água a alta pressão.

- Embebição

No intuito de diluir os sólidos remanescentes no bagaço para aumentar a extração, adiciona-se água ao bagaço antes de passar pelos últimos rolos. A embebição utilizada é do tipo composta, que consiste em adicionar água entre os últimos ternos (conjunto de três rolos da moenda) e fazer retornar o caldo extraído desse último para o anterior e assim sucessivamente até o segundo terno.

- Geração de energia

A moagem separa o caldo do bagaço. Este bagaço é conduzido, por meio de esteiras (06), à caldeira (07) onde é queimado para a produção de vapor d'água, com pressão média de  $21 \text{ kgf/cm}^2$  e temperatura de  $300^\circ\text{C}$ . Esse vapor é utilizado no acionamento de turbinas a vapor, transformando energia térmica em energia mecânica. Essas turbinas movimentam os picadores, os desfibradores, as moendas *et cetera*, bem como geradores de energia elétrica (08), necessária em vários setores da indústria. O vapor liberado nas turbinas, denominado vapor de escape, é um vapor de baixa pressão ( $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ ) e é utilizado como fonte básica de energia ao longo do processo de fabricação do açúcar e do álcool.

- Tratamento de caldo

O caldo resultante da extração pelas moendas passa por algumas etapas de tratamento antes de ser encaminhado à produção de açúcar e/ou álcool. Esse caldo

é peneirado, para remoção das impurezas mais grosseiras. No entanto, impurezas menores (solúveis, insolúveis ou coloidais) não são removidas apenas com a utilização de peneiras. No caso desse tipo de impurezas, uma seqüência de procedimentos é adotada, no intuito de coagulá-las, de maneira que a decantação possa separá-las. Após essa seqüência de tratamento, descrita a seguir, o caldo é enviado à produção de açúcar e/ou álcool, sendo que, para o caso da produção de álcool, o procedimento de sulfitação não é necessário.

- Sulfitação (09)

A sulfitação consiste na absorção de  $\text{SO}_2$  pelo caldo, inibindo reações que causam a formação de cor, coagulando matérias coloidais, auxiliando na formação de precipitados que farão o arraste de impurezas durante a sedimentação, diminuindo a viscosidade do caldo e desinfetando o meio.

- Caleagem (10)

A caleagem é feita por meio da adição de leite de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), que também coagula material coloidal, auxilia na precipitação e arraste de impurezas solúveis e insolúveis e eleva o pH para valores neutros.

- Aquecimento (11)

O caldo é então aquecido até aproximadamente  $105^\circ\text{C}$ , para acelerar e facilitar as reações de coagulação e floculação dos colóides e não-açúcares protéicos e emulsificar graxas e ceras. O aquecimento nessa etapa do processo visa essencialmente aumentar a eficiência do processo de decantação e promover a posterior retirada de ar.

- Flasheamento (12)

No balão de *flash*, uma diminuição brusca de pressão provoca uma ebulição espontânea do caldo eliminando assim o ar nele dissolvido que, quando presente, dificulta a decantação das impurezas mais leves.

- Decantação (13)

A decantação, também chamada de clarificação, é a etapa de purificação do caldo pela remoção das impurezas floculadas nos tratamentos anteriores. O caldo, livre das impurezas, é chamado caldo decantado e segue para a etapa de evaporação. As impurezas constituem o que é chamado de lodo. O lodo é enviado à etapa de filtração, descrita a seguir.

- Filtração (14)

Para recuperar o açúcar contido no lodo, procede-se com a sua filtração. Dessa forma separa-se o caldo filtrado do que é retido no filtro: a torta, formada basicamente pelos resíduos retirados na decantação. O caldo retorna ao processo e a torta é utilizada como adubo na lavoura.

### **Etapas da fabricação do açúcar**

- Evaporação (15)

Constitui o primeiro estágio de concentração do caldo proveniente da etapa de tratamento. O caldo clarificado contém cerca de 85% de água. A evaporação tem como objetivo reduzir essa porcentagem para aproximadamente 40%. O caldo concentrado é chamado de xarope.

Essa evaporação é feita em evaporadores de múltiplo efeito concorrente, isto é, o vapor gerado pela evaporação da água do caldo (vapor vegetal), presente na caixa de evaporação anterior, é utilizado como fonte de aquecimento para a caixa posterior.

- Cozimento (16)

Saindo da etapa de evaporação, o xarope é enviado ao cozimento que é uma nova etapa de concentração só que agora com a formação de cristais em virtude da precipitação da sacarose dissolvida na água. Os cozedores são equipamentos semelhantes aos evaporadores e seu produto final, cristais de açúcar envolvidos em mel (solução açucarada), é chamado de massa cozida. Nessa etapa atinge-se uma

concentração entre 90 e 95ºBrix (porcentagem em peso de sólidos) à temperatura entre 58 a 65ºC.

- **Cristalização (17)**

A massa cozida é então enviada a cristalizadores que a resfriam lentamente com o auxílio de água. Dessa maneira, consegue-se recuperar parte da sacarose que ainda estava contida no mel por sua deposição nos cristais já existentes gerando o conseqüente aumento dos mesmos.

- **Centrifugação (18)**

Dos cristalizadores, a massa cozida segue às centrifugas. A força centrífuga promove a separação do açúcar. O mel removido é coletado e retorna aos cozedores para um maior esgotamento. O açúcar descarregado das centrifugas apresenta alto teor de umidade (0,5 a 2%) e temperatura elevada (65 a 95ºC).

- **Secagem**

Por meio de um elevador de canecas (19), os cristais de açúcar seguem para a secagem (20) em tambores rotativos, levemente inclinados em relação à horizontal, e usando ar quente em contracorrente com o açúcar a ser seco. Esse açúcar pode ser comercializado como açúcar cristal, ou então, utilizado para a fabricação de outros produtos como o açúcar invertido, o açúcar refinado ou o açúcar líquido.

- **Armazenagem (21)**

Atualmente, dois tipos de armazenagem e manipulação de açúcar apresentam aceitação generalizada: armazenagem em sacaria e a granel. O sistema de armazenagem em sacaria, predominante até há alguns anos, vem lentamente cedendo lugar ao sistema a granel. A armazenagem a granel traz uma série de vantagens econômicas, sendo a principal delas o fato de assegurar uma deterioração mais lenta que a do açúcar ensacado, podendo ocorrer esse fenômeno ou a umidificação, porém restringindo-se à superfície da pilha de estocagem sem maiores conseqüências em seu interior.

## **Etapas da fabricação do álcool**

A partir da cana-de-açúcar pode-se também produzir álcool. O álcool é obtido por meio de um processo bioquímico chamado fermentação. De maneira semelhante à produção de açúcar, para a obtenção do álcool é necessário que o caldo receba um tratamento de purificação. As etapas realizadas durante a fabricação de álcool são descritas a seguir.

O tratamento do caldo destinado à produção de álcool é o mesmo tratamento realizado com o caldo destinado à produção de açúcar, excetuando-se a etapa de sulfitação.

- Resfriamento do caldo

Ao contrário do que ocorre na fabricação do açúcar, o caldo que servirá como matéria-prima na produção de álcool deve ser resfriado. É comum fazer com que o caldo quente troque calor com o caldo frio, sendo esse aquecido e o anterior resfriado. Não sendo suficiente, o caldo que vai para a destilaria deve passar em um trocador de calor (22) no qual trocará calor com água fria até atingir a temperatura de aproximadamente 30°C.

- Preparo do mosto (23)

O mosto é uma solução de açúcar cuja concentração foi ajustada de maneira a tornar a fermentação mais eficiente. O mosto é preparado a partir do mel, caldo e água de modo que a mistura apresente uma concentração final por volta de 16 a 23°Brix.

- Preparo do fermento

Normalmente, utiliza-se o processo de fermentação Melle-Boinot em destilarias. Esse processo tem como principal característica a recuperação de leveduras por meio da centrifugação do vinho.

- Centrifugação do vinho (25)

Das dornas de fermentação, o vinho é centrifugado de modo a separar o fermento. Esse fermento recuperado é denominado leite de levedura e retorna às

cubas de tratamento. O vinho de levedura é enviado à dorna volante (27) e posteriormente às colunas de destilação.

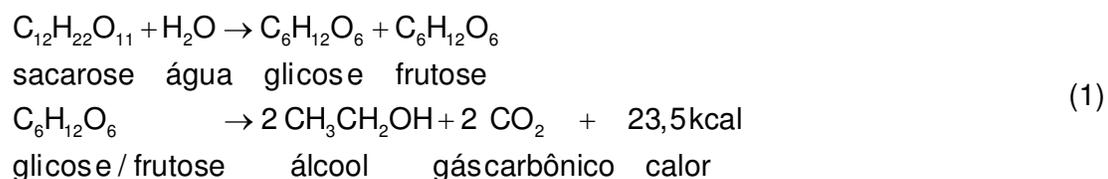
O vinho que vem da fermentação é composto basicamente por componentes em fase líquida, dentre os quais destacam-se o álcool (7 a 10°GL) e a água (89 a 93%). Os demais componentes como glicerina, alcoóis homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succínico, bagacilho, leveduras e bactérias, açúcares infermentescíveis, sais minerais, matérias albuminóides, CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> são encontrados em quantidades bem menores.

Para a separação do álcool, utiliza-se o processo de destilação no qual os diferentes pontos de ebulição dos componentes da mistura são responsáveis pela separação. A operação é realizada em três etapas: destilação propriamente dita, retificação e desidratação. Em todas elas o aquecimento é feito a partir do vapor, de forma direta ou indireta.

De modo a propiciar condições ótimas de fermentação e evitar a infecção bacteriana, a levedura recuperada sofre um tratamento (26) antes de retornar ao processo. Esse tratamento consiste da adição de água, reduzindo o teor alcoólico, e de ácido sulfúrico até pH = 2,5, gerando uma mistura conhecida como pé-de-cuba.

- Fermentação (24)

A fermentação ocorre em tanques denominados dornas de fermentação onde o mosto é misturado com o pé-de-cuba na proporção de 2:1, respectivamente. Os açúcares (sacarose, glicose e frutose) são transformados em álcool, segundo a reação de Gay-Lussac, conforme a Equação (1).



Como mostram as reações acima, a fermentação libera gás carbônico e calor. O gás é lavado de modo a recuperar o álcool evaporado arrastado pelo CO<sub>2</sub>. Devido ao calor liberado e a necessidade de se manter a temperatura da fermentação por volta de 32°C um sistema de resfriamento é utilizado.

Após um tempo de 4 a 12 horas, a fermentação termina gerando um produto final de teor alcoólico entre 7 e 10%, denominado vinho fermentado.

- Destilação (28)

Nessa etapa o etanol é separado do vinho. O vinho, inicialmente com 7 a 10°GL é decomposto em duas correntes: flegma (vapores com 40 a 50°GL) e vinhaça (que segue para a lavoura como fertilizante com menos de 0,03°GL). Essa etapa de destilação elimina ainda impurezas como aldeídos e ésteres.

- Retificação (29)

A etapa de retificação visa concentrar o flegma proveniente da destilação de forma a obter um grau alcoólico de 96°GL à saída e retirar impurezas como alcoóis homólogos superiores, aldeídos, ésteres, aminas, ácidos e bases.

- Desidratação

O álcool a 96°GL é chamado álcool hidratado. Para a produção de álcool anidro, a 99,7°GL é preciso utilizar ciclo-hexano como desidratante. Essa necessidade surge do fato de que o álcool hidratado constitui uma mistura azeotrópica. Uma mistura azeotrópica é uma mistura em que os componentes não são separados por um processo de destilação simples. A adição do ciclo-hexano forma uma mistura ternária com a água e o álcool cujo ponto de ebulição é menor do que o da mistura binária inicial. Após a separação (30), o desidratante é recuperado e reaproveitado. Algumas usinas utilizam um sistema conhecido como peneira molecular para fazer a desidratação.

- Armazenamento (31)

Os alcoóis produzidos, hidratado e anidro, são quantificados e enviados a tanques de grande volume onde são estocados para posterior comercialização.

## ANEXO 2 – REDE DEVICENET®

Este Anexo tem o objetivo de contribuir com os conceitos básicos a respeito da rede DeviceNet®. Para tal, foi elaborado material com base em ODVA (2003), que segue.

É uma rede de comunicação de baixo custo idealizada para interligar equipamentos industriais, tais como: sensores indutivos, capacitivos, fotoelétricos, válvulas solenóides, motores de partida, sensores de processos, leitores de código de barras, variadores de frequência, painéis e interfaces de operação. Além de eliminar o gasto com a instalação dos equipamentos, a rede proporciona a comunicação entre os participantes, implementando níveis de auto-diagnóstico, nem sempre disponível nas instalações convencionais, conforme ilustrado na Figura 29.

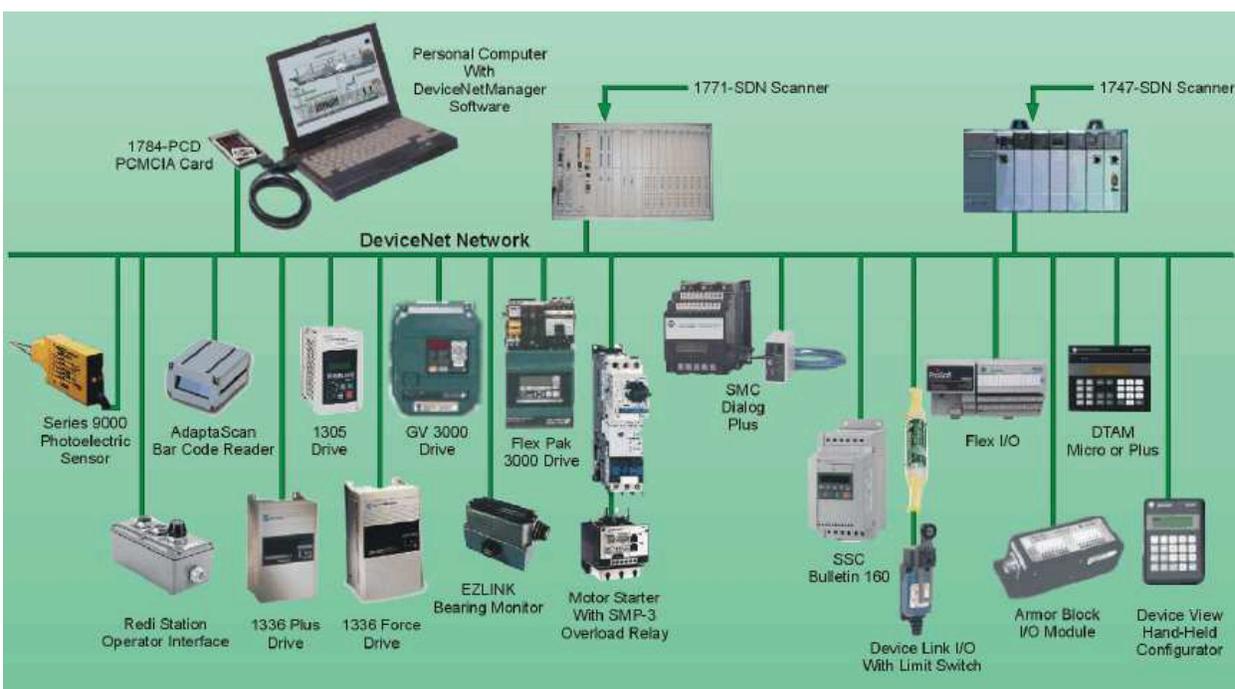


Figura 29 – Interligação entre dispositivos da rede DeviceNet®

Sua utilização é uma solução simples para instrumentação de redes industriais reduzindo os custos de instalação (cabos, bandejas, caixas de junção *et cetera*) e os tempos de montagem dos equipamentos ao mesmo tempo em que permite a intercambialidade dos instrumentos de diversos fabricantes.

A rede DeviceNet® foi desenvolvida pela Allen Bradley com base no protocolo CAN® (*Controller Area Network*) e sua especificação é aberta e gerenciada pela DeviceNet® Foundation. O protocolo CAN® foi desenvolvido originalmente pela empresa Robert Bosch Corp., como uma rede digital para a indústria automobilística, visando substituir os custos dos sistemas de cabo nos automóveis por uma rede de baixo custo. Como esse protocolo possui baixo tempo de resposta e alta confiabilidade vem sendo aplicado em sistemas de freios ABS e Air-Bag.

A Figura 30 ilustra a relação entre CAN® e DeviceNet® e as camadas do modelo OSI/ISO.

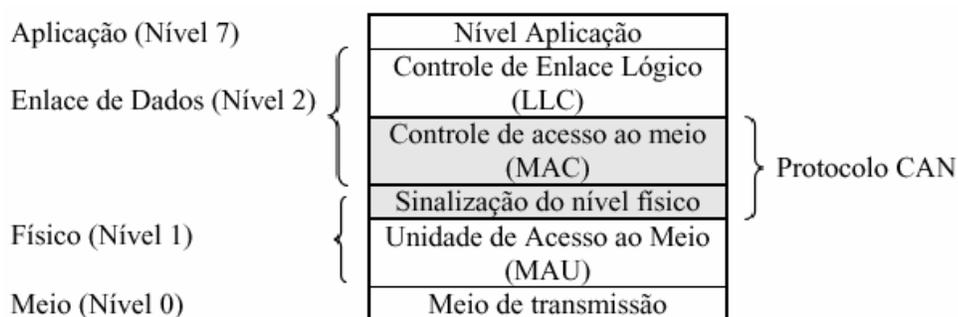


Figura 30 – Relação entre CAN® e DeviceNet® e as camadas do modelo OSI (SEIXAS-FILHO, 2007)

Os *chips* de comunicação estão disponíveis em vários encapsulamentos para altas taxas de temperatura e alta imunidade a ruídos, tornando-se aplicável em ambientes industriais. Hoje existem diversos fornecedores de *chips* CAN®: Intel, Philips/Signetics, NEC, Siemens, Hitachi e Motorola.

DeviceNet® é uma das três tecnologias abertas e padronizadas de rede, cuja camada de aplicação usa o CIP. Ao lado de ControlNet® e Ethernet/IP®, possuem uma estrutura comum de objetos. Ou seja, ele é independente do meio físico e da camada de enlace de dados. Essa camada de aplicação padronizada, aliada a interfaces de dispositivos e programação abertas, constitui uma plataforma de conexão universal entre componentes em um sistema de automação, desde o chão-de-fábrica até o nível da internet. A Figura 31 ilustra o CIP (*Common Industrial Protocol*) no modelo OSI (*Open Systems Interconnection*).

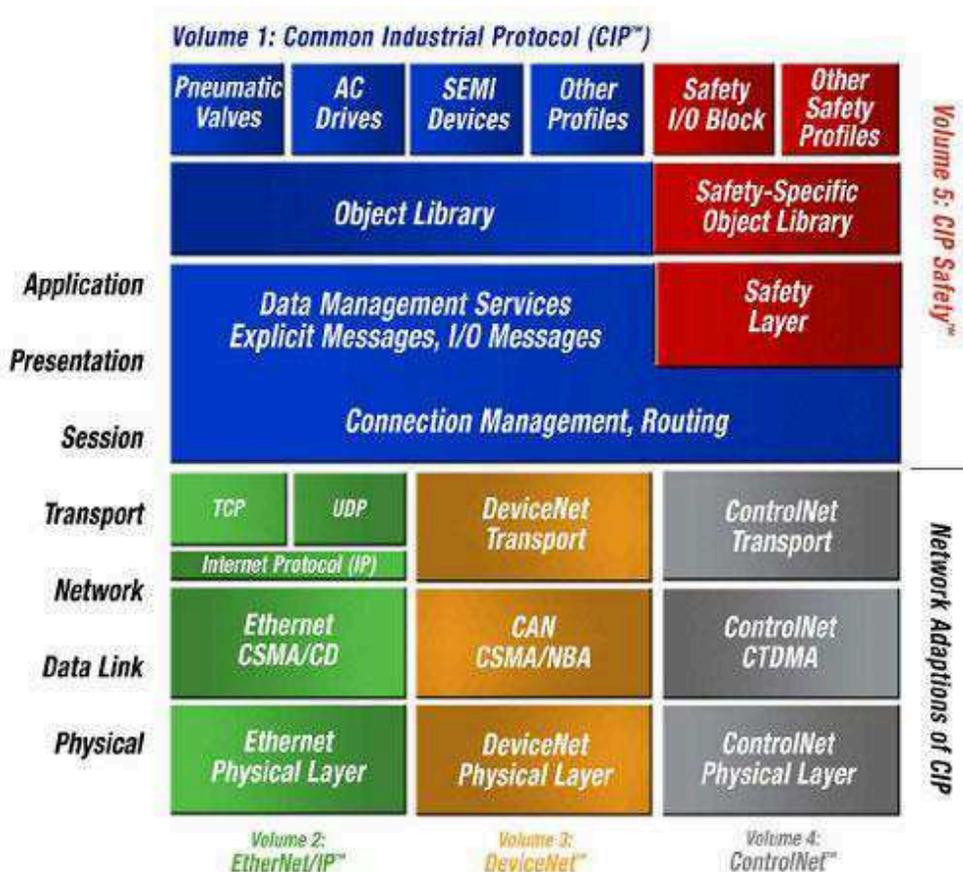


Figura 31 – CIP no modelo OSI

A instalação permite o endereçamento de até 64 nós (MACID – *Media Access Control Identifiers*) onde cada endereço pode suportar um infinito número de I/Os, como por exemplo um atuador pneumático de 32 válvulas ou um módulo com 16 entradas discretas. Cada equipamento possui um microcontrolador que gerencia o armazenamento em memória não volátil do seu endereço.

O meio físico utilizado é um cabo padrão de dois pares trançados, sendo um dos pares responsável pela distribuição da alimentação 24V<sub>CC</sub> nos diversos nós e o outro utilizado para o sinal de comunicação. Se mais de um participante tentar acessar a rede simultaneamente, um mecanismo de arbítrio resolve o conflito sem perdas de dados, diferenciando-se da Ethernet® que utiliza a detecção de colisão com sua perda de dados, e banda de frequência. Conforme observado na Figura 32 o quadro de dados utilizado pela rede DeviceNet®.

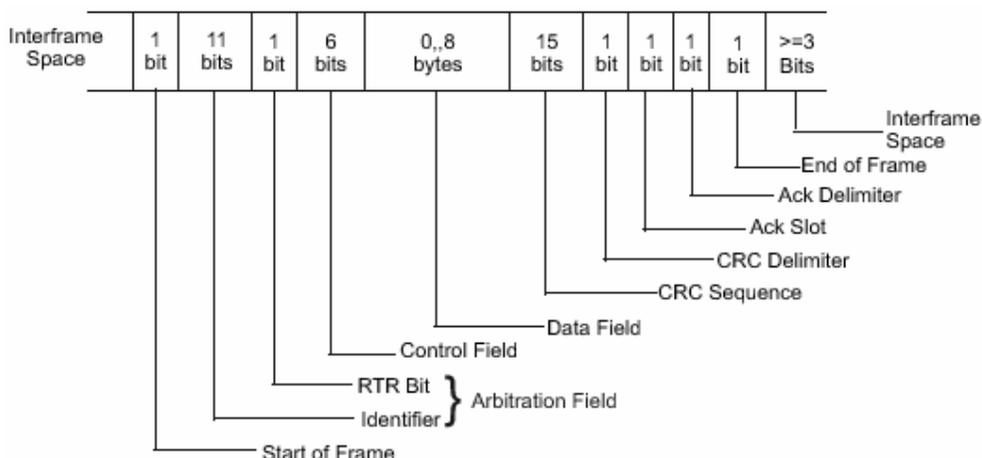


Figura 32 – Quadro de dados utilizado pela rede DeviceNet® (SENSE, 2001)

Os *bits* de *arbitration field* determinam quem continua transmitindo no caso de acesso simultâneo da rede. O *control field* determina o tamanho dos dados a serem transmitidos no *data field*, permitindo maior flexibilidade, pois equipamentos simples podem transmitir somente entradas I/O, trocados freqüentemente, e os instrumentos mais complexos podem utilizar mais *bytes* para transmitir auto diagnósticos ou tabela de parâmetros. A seqüência final utiliza redundância cíclica para *check* das palavras transmitidas utilizando-se vários métodos incluindo CRC para detecção de falhas, que são transparentes aos usuários.

Existem vários métodos de comunicação, dependendo do projeto do equipamento pode-se utilizar na rede DeviceNet® comunicação dos tipos: *strobed*, *polled*, *cyclic*, *change-of-state* e *application-triggered*.

O processo de comunicação define dois estados lógicos chamados de dominante “0” e recessivo “1”. A rede permanece no modo recessivo somente enquanto não há nenhuma transmissão. Qualquer participante pode tentar transmitir informações, como na Ethernet®, se a rede não estiver ocupada. Vários controles são utilizados no quadro de comunicação, sendo possível se efetuar, entre outras coisas, checagem de recebimento (ACK), detecção de erros nos dados (CRC) e detecção de erros de quadro (FORM).

Para que os produtos possam ser configurados, os fabricantes fornecem um arquivo texto com os dados dos produtos, os chamados *Electronic Data Sheet* (EDS), que devem ser instalados nos programas de configuração da rede DeviceNet®.

Os arquivos EDS possuem uma numeração que é gerada a partir de um padrão. Conforme observado na Tabela 45 de um relé eletrônico (E3+) 3-15 A, da Rockwell Automation, *firmware* versão 1, arquivo número: 0001000300060100.eds.

Tabela 45 – Padrão arquivo EDS

<b>0001 0003 0006 01 00 .eds</b>			
Grupo 1	0001	Número do fabricante	
Grupo 2	0003	Tipo de produto	
Grupo 3	0004	Código do produto	
Grupo 4	01	<i>Firmware</i> maior versão	
Grupo 5	00	<i>Firmware</i> menor versão	

Um dos principais diferenciais da rede DeviceNet® é a configuração automática após substituição de dispositivos, ADR (*Auto Device Recovery*), que após a retirada de um dispositivo já configurado da rede, se for repostado um dispositivo idêntico ao anterior, a função ADR irá realizar o *download* de todas as parametrizações antigas realizadas no dispositivo retirado, uma programação automática das características do dispositivo.

A rede é muito versátil, podendo-se utilizar centenas de produtos certificados, desde sensores inteligentes até inversores de frequência e interfaces homem-máquina, fornecidos por vários fabricantes.

Possui uma organização independente que gerencia as especificações da rede visando seu crescimento mundial denominada ODVA (*Open DeviceNet® Vendor Association*). A ODVA atua junto aos fabricantes fornecendo treinamento, testes de conformidade e atividades de publicidade, por exemplo publicando os catálogos de produtos.

Os cabos normalizados para redes DeviceNet® são compostos por dois pares de fios (um para alimentação  $24V_{CC}$  e outro para a comunicação digital), possuindo especificações que garantem o funcionamento da rede nos comprimentos pré-estabelecidos, conforme apresentado na Tabela 46.

Tabela 46 – Relação entre o comprimento do cabo e sua taxa de transmissão

Tipo	Função	Taxa de transmissão		
		125 kbaud	250 kbaud	500 kbaud
Cabo grosso	Tronco	500 m	250 m	100 m
Cabo fino	Tronco		100 m	
Cabo <i>flat</i>	Tronco	380 m	200 m	75 m
Cabo fino	Derivação até dispositivo		6 m	
Cabo fino	Somatória de Derivações	156 m	78 m	39 m

O CCMI possui cabeamento interno no padrão da rede DeviceNet®, com as principais características elétricas conforme abaixo:

- topologia física básica do tipo linha principal com derivações;
- cabo *flat* com distribuição de sinal e de alimentação (24V<sub>CC</sub>) no mesmo cabo;
- inserção e remoção de nós a quente, sem necessidade de desconectar a alimentação da rede;
- utiliza resistores terminadores de 121 ohms em cada fim de linha;
- permite conexão de múltiplas fontes de alimentação.

A linha tronco DeviceNet® é roteada pelo eletroduto de controle e rede e pelo eletroduto horizontal superior do CCMI, conforme Figura 33. O eletroduto de controle e rede pode ter até 24 portas DeviceNet®.

A linha tronco possui duas tomadas: uma do lado esquerdo, outra no direito da seção vertical, conforme Figura 34. A conexão da gaveta com a DeviceNet® é feita quando a mesma está na posição de conectada ou de teste.

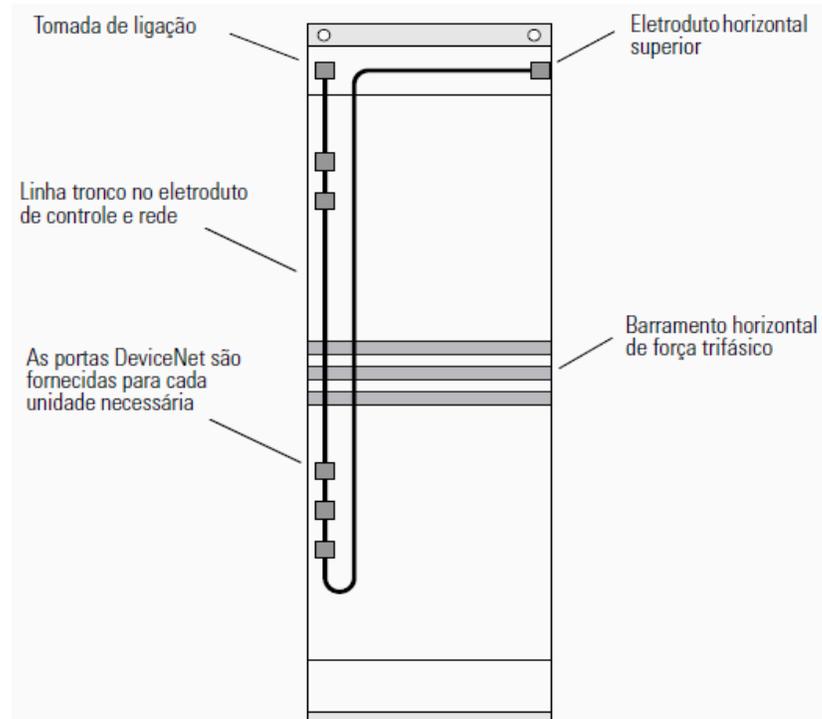


Figura 33 – Seção vertical típica do CCMi

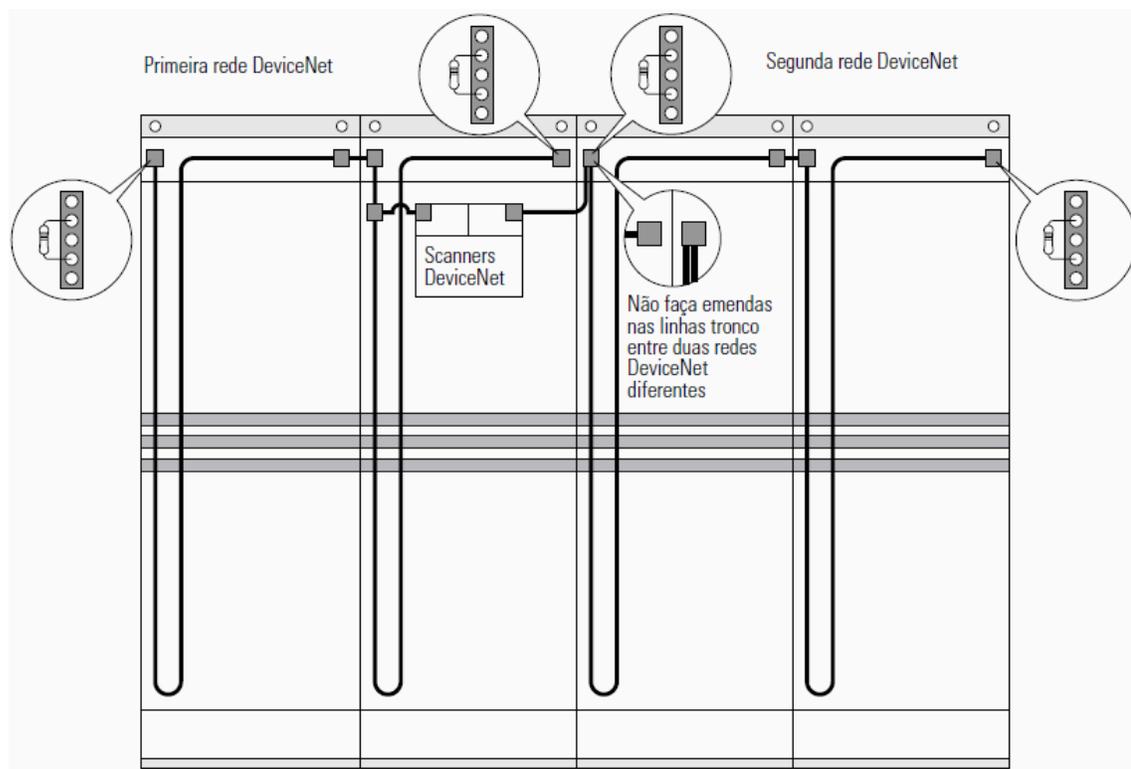


Figura 34 – CCMi com duas redes diferentes

A fonte de alimentação deve ser compatível com a rede DeviceNet®, como especificado nos padrões da ODVA. Fontes não padronizadas podem causar danos ao sinal e aos componentes, segue abaixo os padrões da ODVA:

- valor nominal de  $24V_{CC}$  ( $\pm 1\%$ );
- tempo de subida menor que 250 ms dentro de 5% de  $24V_{CC}$  com carga total de 8 A;
- proteção de limite de corrente de 8A contínuos e 10A durante os primeiros 250 ms;
- cada dispositivo consome entre 90 a 165 mA.

A Tabela 47 ilustra as especificações do aplicativo IntelliCENTER®

Tabela 47 – Especificações do aplicativo IntelliCENTER®

<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
Frequência de <i>polling</i>	máx 9.9/s – min. 1.0/s
Número recomendado de nós na rede DeviceNet®	50 a 500 kbaud 35 a 250 kbaud (125 kbaud não recomendado)
Tipo de mensagens	explícitas de baixa prioridade
Dados mostrados a cada visualização	13
Registros gráficos de tendência	5.000
Eventos / documentos por linha	32.767
Número recomendado de nós por aplicativo IntelliCENTER®	Ilimitado
Número máximo de visualizações abertas simultaneamente	Ilimitado