

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**



**Automação de uma Estação Coletora de Petróleo**

**Projeto de Conclusão de Curso**

**Marcílio Alves da Silva**

Novembro / 2003



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Automação de uma Estação Coletora de Petróleo  
(Projeto de Conclusão de Curso)**

*Péricles Rezende Barros*

---

**Péricles Rezende Barros  
Orientador do projeto**

*Marcílio Alves da Silva*

---

**Marcílio Alves da Silva  
Matrícula: 29811187**

Novembro / 2003

# ÍNDICE

1 – Processo	01
1.1 – Água Produzida	02
1.2 – Óleo	03
1.3 – Gás	03
1.4 – Controle de Produtividade	04
2 – Instrumentação do Processo	06
2.1 – Instrumentação da Água Produzida	09
2.2 – Monitoramento das Bombas	12
2.3 – Instrumentação do Óleo	13
2.4 – Instrumentação do Gás	15
2.5 – Instrumentação do Controle de Produtividade	15
2.6 – Condicionamento da Informação	15
3 – Automação do Processo	16
3.1 – Integração dos Sistemas	17
3.2 – Rede Redundante	18
3.3 – Arquitetura de Automação	19
4 – Considerações Finais	22
Apêndice A	23
Apêndice B	30
Apêndice C	34

## 1 - Processo

### Estação Coletora de Óleo Bonfim

O processo de extração e tratamento de óleo dos poços de petróleo seguem diferentes etapas desde sua extração até seu envio para as refinarias passando por testes de qualidade dos poços e segurança nas próprias estações de extração. Em uma ordem seqüenciada o processo inicia-se na extração do produto bruto, o petróleo, sendo tratado e enviado para vasos separadores de líquidos, reservatórios de água produzida e óleo até o produto final devidamente separados água produzida, óleo e gás. Todo o processo tem uma devida instrumentação a afim de garantir o ideal funcionamento da estação gerando uma produção constante com sua devida segurança. Cada etapa será explicada detalhadamente em seguida.

Uma estação coletora é onde concentra-se o petróleo proveniente de vários poços de uma pequena região na qual cada poço envia sua produção através de dutos.

Quando se perfura um poço de petróleo e se extrai o conteúdo do mesmo obtém-se uma matéria misturada de água, óleo e gás. Na estação o produto bruto dos poços (um poço por vez) segue para vasos separadores, como mostra a figura abaixo, para obter um primeiro tratamento.



Figura 01: Vasos separadores de líquidos

O vaso separador de líquidos faz uma primeira separação do produto bruto através da diferença de densidade, após um determinado tempo irão existir três componentes distintos, água produzida no fundo do vaso, óleo no meio e gás por cima. Essa separação por meio da densidade de cada componente não é suficiente pois em cada uma das partes citadas ainda se encontram com grande grau de impurezas. Para uma melhor separação dos produtos brutos existem vasos aquecedores que, por efeito da alta temperatura, efetuam a separação com maior grau de qualidade (Esses vasos aquecedores se encontram nas Estações de Tratamento de Óleo – TO's).

O princípio de funcionamento desses vasos separadores seguem o critério de velocidade máxima onde a vazão dos produtos devem ser criteriosamente monitoradas afim de fazer a manipulação dos produtos sem que os níveis de capacidade e pressão excedam os valores máximos permitidos. Em todas estações de tratamento existem dois vasos separadores, sendo um deles reserva para efeito de manutenção.

A partir desse instante temos três caminhos para detalhar, o tratamento do óleo, o tratamento da água produzida e do gás. Em ordem iremos apresentar o manuseio da água produzida da estação.

### 1.1 - Água Produzida

Água produzida é a água que é retirada dos poços junto com o óleo e o gás. Essa água é de um grau de salinidade muito alto (bem superior à água do mar) impossibilitando o escoamento para o meio ambiente. Após a retirada da água dos vasos separadores ela é armazenada em tanques para aguardar uma próxima etapa. Existem duas formas de encaminhamento dessa água, uma delas seria re injetar no mesmo poço de onde ela foi retirada ou levada a uma outra estação para que seja tratada e injetada em outro poço de forma a forçar a saída do petróleo e assim iniciar um novo ciclo de extração.



Figura 02: Tanques de armazenamento de óleo e água produzida

Para este caso em particular a água produzida na Estação Coletora Bonfim se não for ré injetada nos poços de origem seu trajeto alternativo a leva para a Estação de Coqueiro.

## 1.2 - Óleo

Retomando o processo desde os vasos separadores seguimos com o processamento do óleo. O óleo retirado dos vasos separadores vão para tanques de armazenamento onde ficam por um bom tempo, nessa etapa volta a ocorrer o efeito de diferença de densidade e ainda podemos encontrar uma quantidade mínima de água produzida no óleo. Após a retirada da água produzida dos tanques o óleo é enviado, com o auxílio de bombas, para uma estação de tratamento de óleo TO (nesse caso específico o óleo segue através de dutos até a estação de Tecarmo). O óleo será aquecido e desse processo de aquecimento é retirado um mínimo de água produzida, gás e impurezas restantes da etapa inicial de extração. Após isto o óleo, com um alto grau de pureza, será encaminhado para a refinaria e então processado até chegar ao produto final.

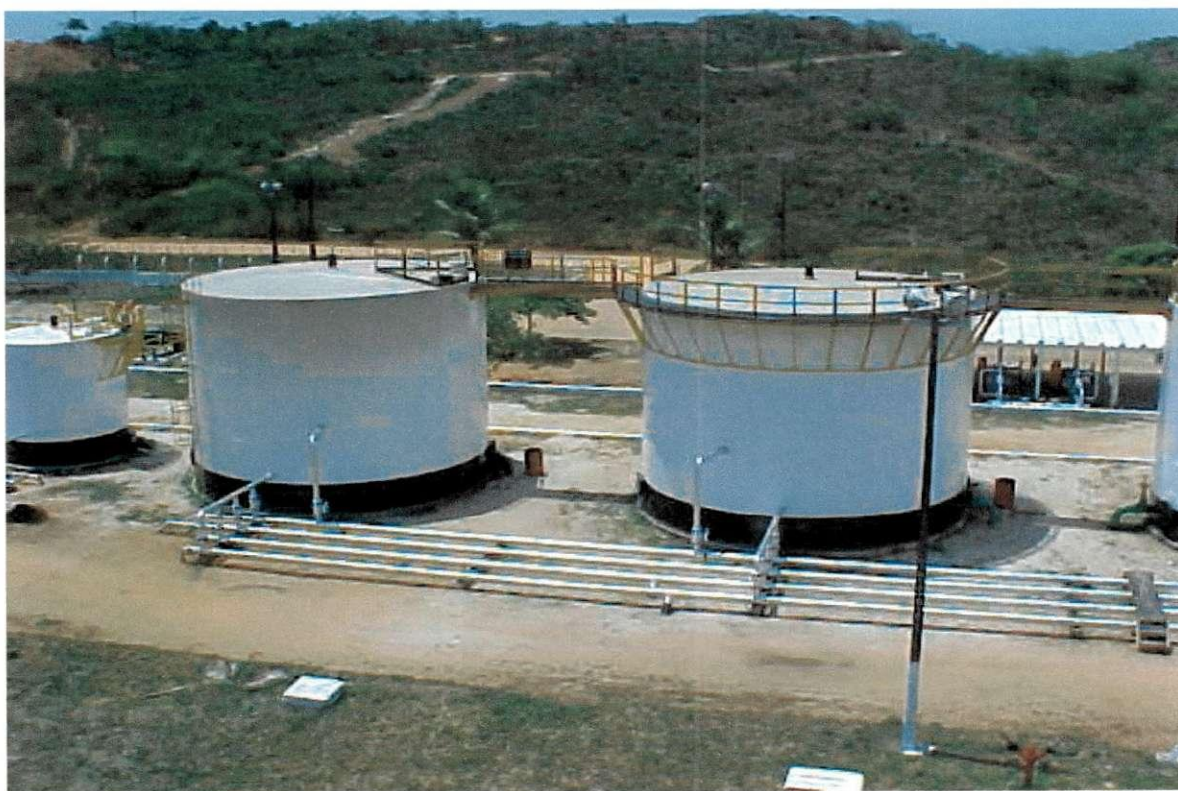


Figura 03: Tanques para armazenar óleo

## 1.3 - Gás

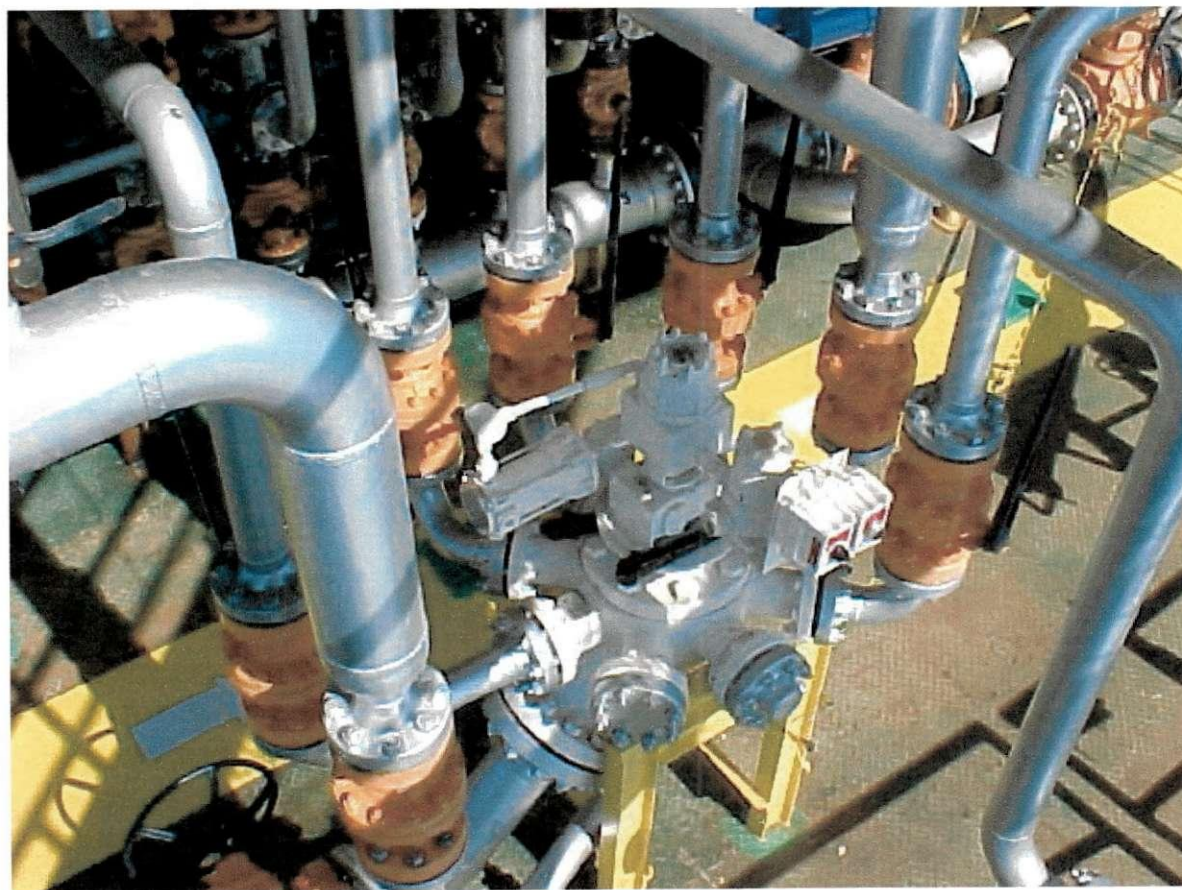
O gás está presente no vaso separador e é devidamente monitorado. Quando os níveis de pressão atingem valores considerados altos a válvula superior do vaso separador libera o gás para um outro vaso separador destinado unicamente ao condicionamento do

gás. O gás presente no vaso separador inicial contém uma grande quantidade de água, dessa forma o processo que separa o gás e a água ocorre novamente. Por fim o gás é liberado para a atmosfera através do dispersor. Em alguns casos existe a queima do gás no dispersor (Fler) porém esse processo é acompanhado por um atomizador, dispositivo necessário por comprimir o produto de queima (gás e líquido) e provocar um spray no dispersor para efetuar a queima de modo mais eficiente. Caso não ocorra a atomização do líquido o dispersor irá provocar uma chuva de fogo.

#### **1.4 - Controle da Produtividade**

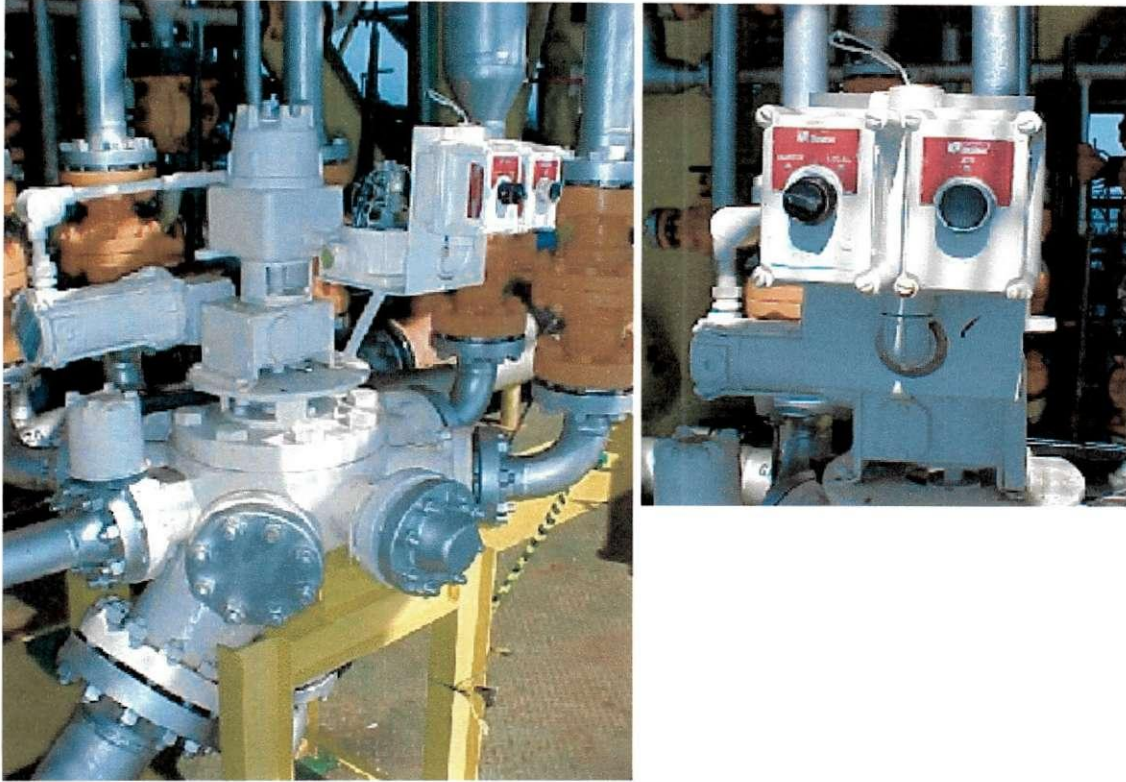
A Petrobras pode extrair o petróleo de terras particulares e para isso paga-se royalt sobre tal petróleo extraído da terra. No caso da estação de Bonfim paga-se royalt sobre o óleo produzido visto que a água e o gás não são processados como produto principal. Para isso é necessário que exista um controle da produção dos poços visando a viabilidade de explorar cada poço individualmente.

Visto que a Estação Coletora Bonfim recebe o produto bruto de vários poços adjacentes, todo o processo de controle da produção inicia-se na seleção de um determinado poço através de uma válvula multivia.



**Figura 04: Válvula multivia (visão superior)**





**Figura 05: Válvula multivia e chave seletora de poços**

Após selecionar um determinado poço através da chave multivia o produto bruto é transportado para tanques de armazenamento. Nesses tanques o processo de separação por meio da diferença de densidade se repete, mas para fins de controle de produção não se faz a separação dos produtos (água produzida, óleo e gás). O produto bruto, agora separado, passa por células medidoras de vazão afim de medir a quantidade de água produzida, óleo e gás de cada poço.

Com os dados dessa medição a Petrobrás paga o devido royalt sobre o óleo bem como também efetua um controle efetivo sobre a viabilidade de se explorar cada poço individualmente.

Os tanques de armazenamento destinado ao controle da produtividade são vistos na figura 02 sendo eles os três tanques menores.

## 2 - Instrumentação do Processo

Ao sair dos poços, o petróleo segue por dutos até as válvulas multivias onde recebem uma primeira instrumentação. Essas válvulas são responsáveis por selecionar um poço por vez e então iniciar todo o processo de estudo e exploração de cada poço.

### Válvulas multivias

Existem duas válvulas multivias (ZV-3225.0101 e ZV-3225.0102) na estação Bonfim. Estes dispositivos são responsáveis por selecionar um poço por vez para ser estudado e explorado. Estes dispositivos compreendem uma grande eletrônica embarcada dispondo de um sistema microprocessado destinado a monitorar e controlar a vazão do fluido. A válvula multivia contém um encoder ótico para controlar o rotor de grande precisão (aproximadamente de 1/3 de um grau) bem como chaves de fim de curso para selecionar cada poço de forma precisa. O posicionamento de cada válvula pode ser acompanhada na IHM por indicadores de posição. O sistema padrão usa uma comunicação Modbus através de portas seriais RS-232 ou RS-485.

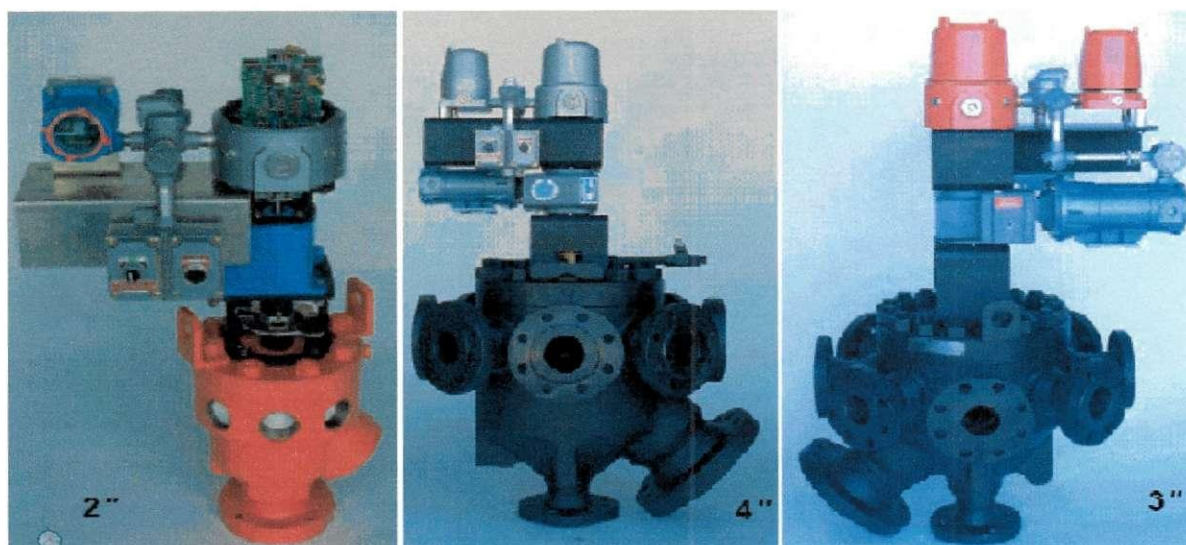


Figura 06: Válvulas multivias

Após sair das válvulas multivias, a produção recebe um tratamento químico com injeção de polieletrólitos, desemulsificante e inibidor de corrosão. As propriedades de cada produto é descrito a seguir.

- Polieletrólitos – responsável pela retirada de oxigênio do produto bruto gerando uma maior agregação entre partículas de mesma origem (partículas de óleo com partículas de óleo e partículas de água produzida com partículas de água produzida).
- Desemulsificante – responsável por facilitar a separação do óleo com a água produzida.
- Inibidor de Corrosão – responsável por evitar a corrosão nos dutos e equipamentos da estação.

Existem dois tambores com os produtos químicos que são injetados no petróleo através de duas bombas (B-122501A e B-122501B) monitoradas pelo CLP.



**Figura 07: Bombas dosadoras de produtos químicos**

As bombas tem uma chave Liga/Desliga no campo e outra remota na IHM bem como indicadores de nível e alarme. Após o tratamento químico o produto bruto segue para os vasos separadores afim de iniciar todo o processo a que se dispõe a estação coletora de Bonfim.

### **Vaso separador de Líquidos**

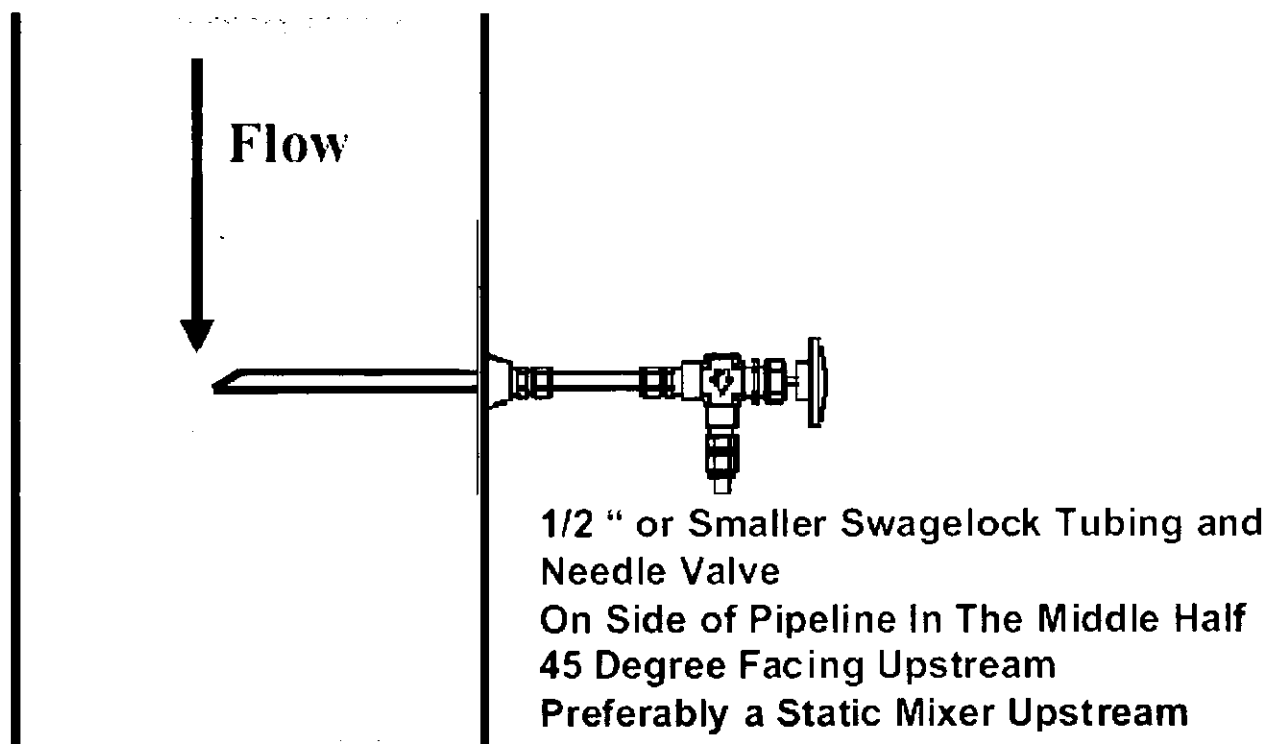
A instrumentação do processo segue a mesma ordem em que o processo foi apresentado iniciando-se nos vasos separadores de líquidos (V-122501 e V-122502). Nesse instante o produto bruto sofre sua primeira modificação. A partir desse instante todas as etapas serão devidamente monitoradas através de sensores, indicadores e atuadores.

Nos vasos separadores podemos encontrar analisador de BS&W, transmissor de nível, indicador de nível e válvulas ligadas às saídas dos vasos separadores.

Normalmente, o petróleo produzido está associado a água salgada e areia. Estas frações são denominadas *Bottom Sedimentary and Water* ou *BS&W*, uma vez que a água representa a maior parte. A determinação do *BS&W* é importante para o balanço da produção de óleo. Atualmente, a medição do *BS&W* é determinada por duas formas:

a) laboratório; b) medição do diferencial de pressão.

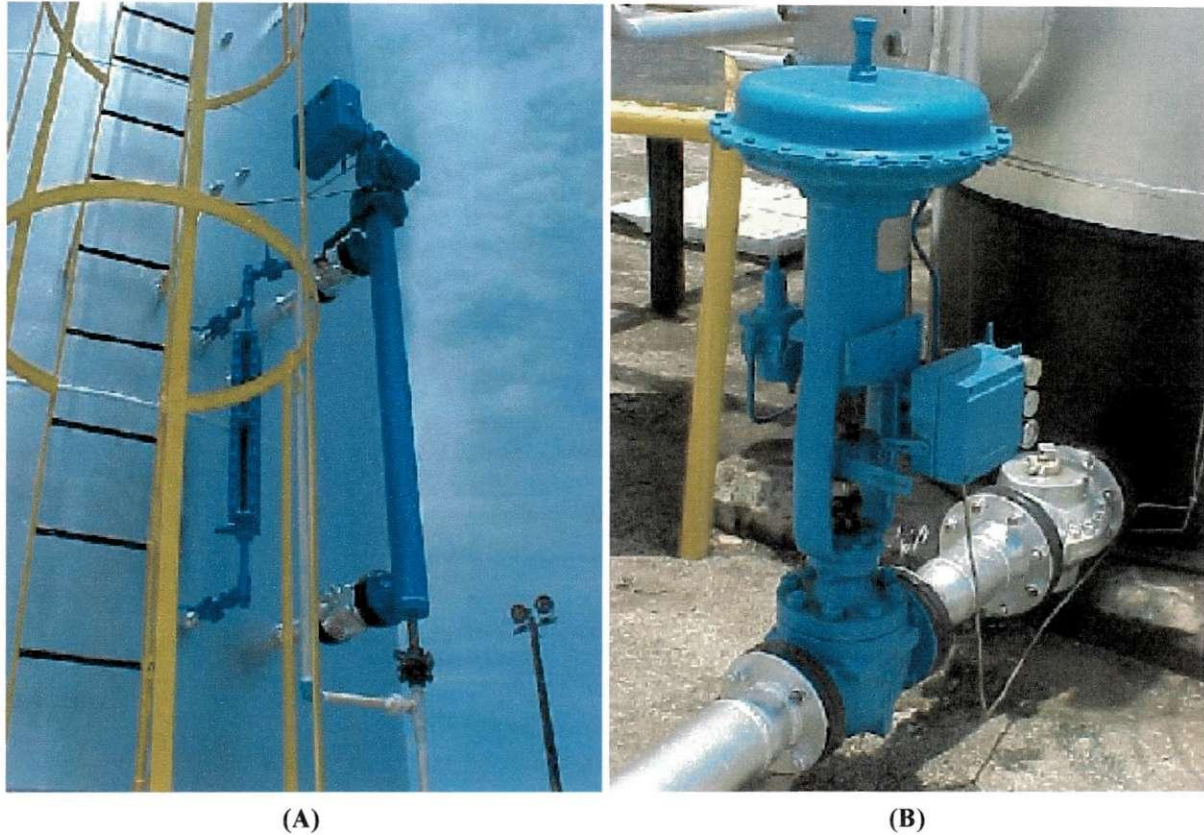
Apresentam-se os resultados da medição do *BS&W* através do analisador ligado diretamente no vaso separador.



**Figura 08: Analisador de BS&W**

O principal fabricante do analisador de BS&W é a Phase Dynamics.

Um sensor de nível do vaso separador (sensor analógico) indica que a quantidade de óleo e água está próximo de seu valor máximo, essa informação vai para o CLP e é processada juntamente com as informações do analisador BS&W e então aciona um conversor i/p (conversor corrente elétrica / pressão) acionando uma válvula que faz com que o óleo seja transferido para os tanques de armazenamento, ver figura abaixo.



**Figura 09: (A) Indicador de nível, (B) Válvula de controle**

Uma outra possibilidade é o fato de ocorrer o aumento de volume no vaso separador e o analisador BS&W não determinar a liberação do produto através da válvula, desta forma a válvula superior do vaso separador libera o gás afim de diminuir o volume do vaso e dar mais um tempo para que o processo de separação entre a água produzida e o óleo ocorra. Ocorrendo a separação entre a água produzida e o óleo o processo continua de forma desejada.

O principal fabricante das válvulas de controle é a Masoneilan e a Fisher porém é fácil encontrar outros grandes fabricantes no mercado.

## **2.1 - Instrumentação da Água Produzida**

A água produzida é liberada e segue para o tanque de armazenamento de referência TQ-631101 onde ficará até ser encaminhada a uma nova etapa do processo. No tanque de água temos sensores digitais (a contato) de forma a indicar os níveis baixo (LSL), alto (LSH) e muito alto (LSHH) de água produzida. Em conjunto com os sensores digitais também utiliza-se um radar no topo do tanque de forma a informar com maior precisão diversas grandezas físicas referentes à água produzida. Esses radares são utilizados em todos os tanques de armazenamento seja ele de óleo, água produzida ou tanques de testes. Na figura seguinte é possível visualizar tais dispositivos.

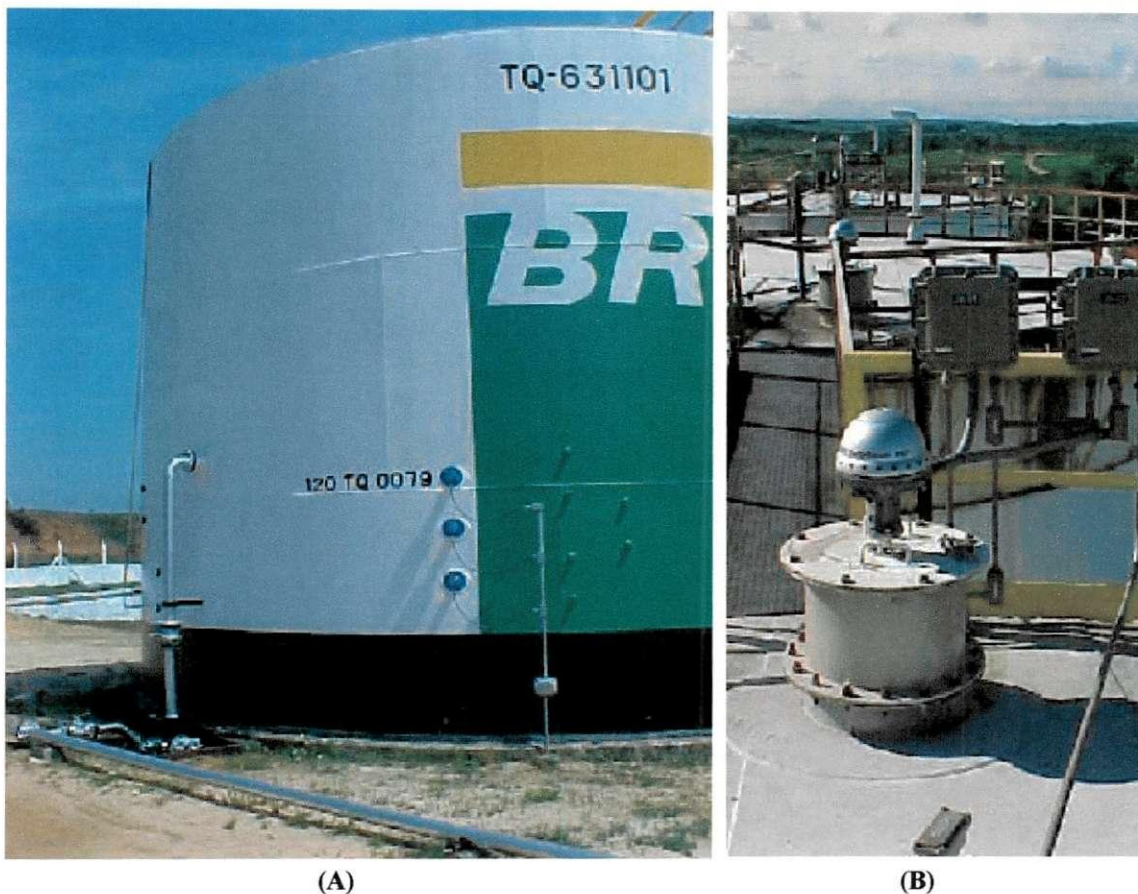


Figura 10: (A) Sensores a contato (digitais) (B) Sensor Radar (analógico)

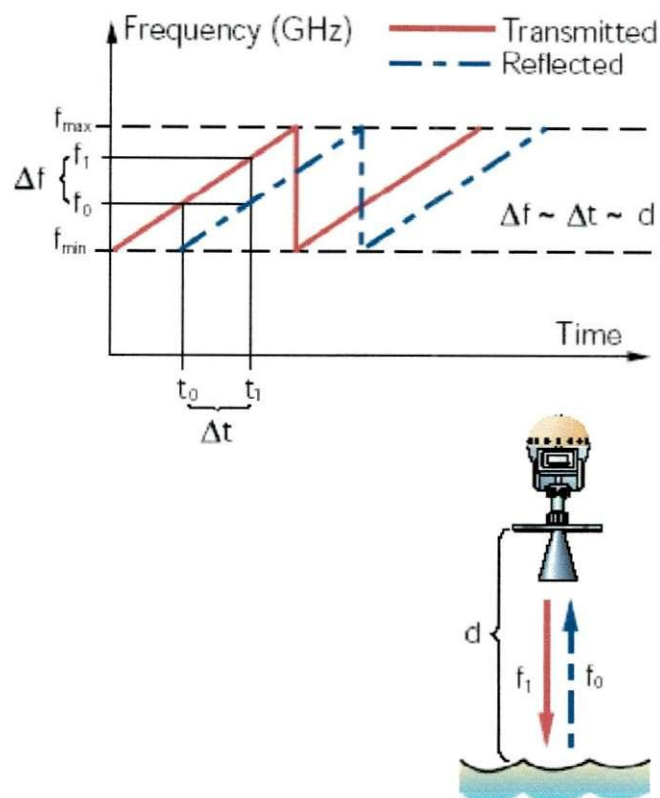
### Radar

Cada elemento radar (transmissor de nível) oferece uma precisão na faixa de operação de 1 até 20 metros. Antes de instalar o dispositivo são efetuados testes cuja calibração é certificada com um alto grau de precisão, ou seja, permita uma calibração com padrões internacionalmente certificados.

O sistema deverá ser capaz de medir o nível, pressão, temperatura e interface produto/água dos tanques. Baseados nos valores fornecidos o sistema deverá ser capaz de fornecer informações de inventário, à saber, volume, densidade e massa, esta última mediante fornecimento pelo usuário de dados de densidade do produto.

O Sistema de Medição de Nível deverá consistir em uma solução completa, desde os elementos sensores até a interface com o usuário e dispositivos de comunicação com o meio externo. Esses meios de comunicação serão detalhados posteriormente ao se introduzir tópicos referentes a automação do processo.

O elemento radar deverá promover algum nível de redundância para a própria segurança do processo. Todos os dispositivos radares deverão dispor da opção de serem protegidos contra escrita. Esta proteção, que deverá ser física, poderá ser lacrada, impedindo o acesso por pessoas não autorizadas. O elemento radar deverá ser capaz de processar alarmes e erros relatados por todo o processo.



**Figura 11: Princípio de funcionamento do elemento radar**

O nível do líquido é medido a partir do momento que o radar emite um sinal do topo do tanque. Este sinal reflete na superfície do líquido e é captado com um certo grau de defasagem em comparação com o sinal original na qual essa defasagem é proporcional à distancia a ser medida e pode ser calculada com grande precisão. Este método é chamado de FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) e a frequência de operação do radar é de 10 GHz

O elemento radar deverá ser capaz de processar alarmes e erros relatados por todos os seus componentes. No caso em estudo os indicadores de níveis baixo (LAL) e muito alto (LAHH) geram intertravamento do processo, ou seja, ocorre uma parada no processo comandado pelo CLP a partir da interpretação dos dados fornecidos pelos sensores.

### **Bombeamento da Água Produzida**

Continuando a instrumentação do processo verificamos que a água produzida, após passar pelo tanque de armazenamento, segue para dois possíveis caminhos através de dutos impulsionado por duas bombas (B-621601 e B-621602). Cada bomba presente no processo é interligada a um motor e o acionamento do mesmo é monitorado via CLP na qual existe toda uma lógica afim de monitorar uma chave de Liga/Desliga no campo e outra na IHM. Nessa mesma IHM é possível observar indicadores de alarme bem como intertravamento para que, numa situação indesejada, o CLP possa desligar o motor que aciona a bomba parando o processo a qualquer instante.

A água produzida segue para a estação de Coqueiro onde será armazenada em dois tanques (TQ-159A e TQ-159B) devidamente monitorado. Se houver a indicação de nível muito nos tanques da estação de Coqueiro as bombas B-621601 e B-621602 serão desligadas via CLP.

As bombas são dispositivos que merecem uma atenção própria visto que existem duas maneiras de acioná-la, através de uma chave Liga/Desliga presente no CCM (central de acionamento de motores) ou através da IHM (chave Liga/Desliga virtual) seguindo um diagrama lógico de modo que ambas as chaves nunca estejam habilitadas ao mesmo tempo. As bombas aqui citadas podem ser observadas na figura 02.

## **2.2 – Monitoramento das bombas**

Sabendo-se que o motor é trifásico e que sua estrutura interna comporta três enrolamentos distintos (um para cada fase), cada enrolamento é monitorado por um sensor de temperatura no qual os sinais dos três sensores podem gerar um intertravamento se algo sair da normalidade.

Os sensores de temperatura resistivos, mais conhecidos como RTD's, são baseados no princípio em que a resistência do metal aumenta com o aumento de sua temperatura. Os RTDs padronizados mais utilizados no mercado são os seguintes:

- JIS [1604-81] (Pt50 e Pt100)
- IEC, DIN, JIS [1604-89] (Pt50, Pt100 e Pt500)
- GE (Cu10)
- DIN (Ni120)

Para uma correta medida de temperatura com o RTD, é necessário eliminar o efeito da resistência dos fios de conexão do sensor com o circuito de medição. Em algumas aplicações industriais, estes fios podem ter extensões de centenas de metros. Isto é particularmente importante em locais onde a temperatura ambiente muda bastante.

Para esse caso em particular é usado três Pt100 em cada motor onde só é disponível ao usuário os conectores do sensor no chassis do motor.

Um detalhe sobre esses sensores é o uso de um transmissor de temperatura inteligente de referência TT301 ou TT302 da Smar. Tais transmissores pode ser utilizado com diversos tipos de sensores em diferentes faixas de valores de temperatura. Esses transmissores recebem pequenos sinais elétricos provenientes dos sensores (na ordem de mV) filtram, processam e transmitem a informação via 4-20 mA ou Hart. Dispondo da tecnologia Hart é possível configurar o transmissor usando um Hand-Held Terminal podendo efetuar tal configuração em qualquer ponto da rede 4-20 mA. Uma configuração alternativa é por meio de um PC usando o software CONF301 em conjunto com uma interface SMAR HI311 (via hart através da serial RS-232C). Toda configuração independe do número de transmissores que a rede suporta.

O transmissor fica no campo, geralmente em áreas desfavoráveis, e por esse motivo tem uma alta imunidade a EMI (interferência eletromagnética) e RFI (interferência de rádio frequência).

O intertravamento ocorre a partir da instrumentação das condições normais de funcionamento do motor, ou seja, quando é detectado algum aumento na temperatura em



algun dos enrolamentos o CLP gera um sinal elétrico no intuito de cortar a alimentação elétrica do motor.

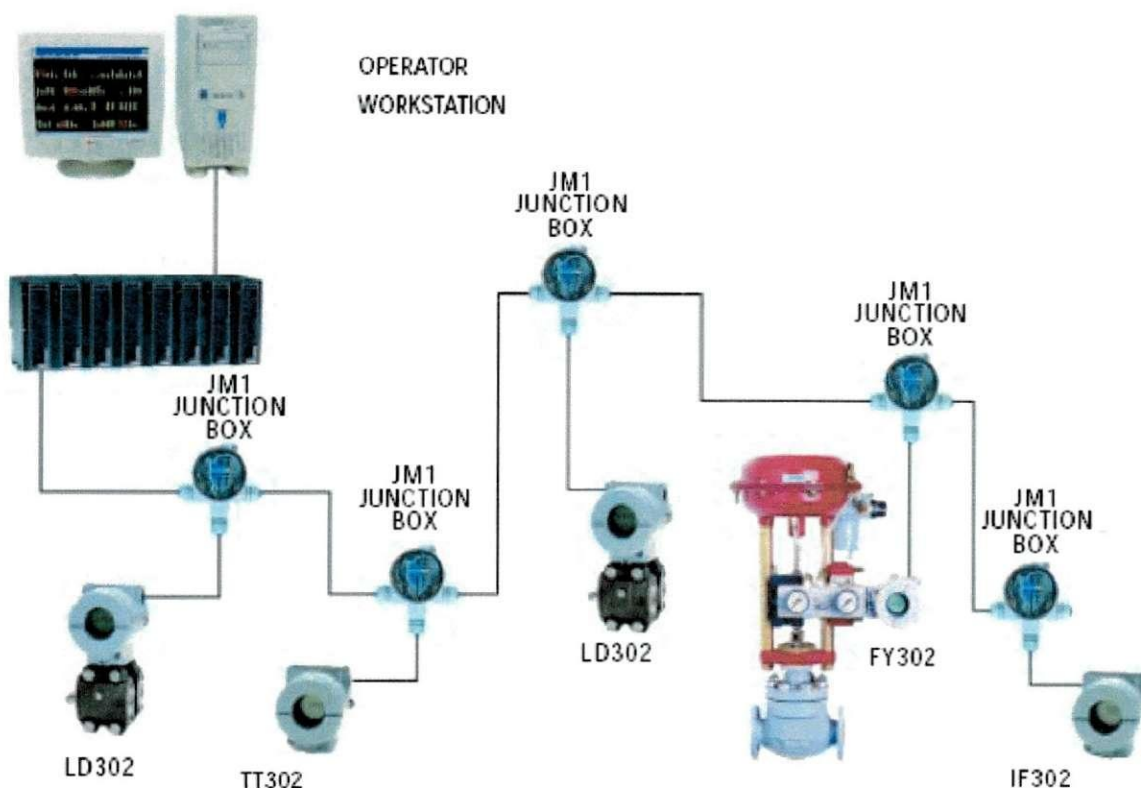


Figura 12: Rede de instrumentação Smar

A água produzida é instrumentada até um pouco antes de sair da estação onde transmissores de pressão e de vazão monitoram seu fluxo até um ultimo instante. Os transmissores de pressão e de vazão dispõe de tecnologia semelhante ao transmissor de temperatura e se comunicam com o CLP de mesma forma, através da comunicação 4-20 mA ou rede fieldbus. O transmissor de pressão gera no CLP indicadores (alarmes) de pressão alta (PAL) e pressão baixa (PAH) porém tais sensores não geram intertravamento.

### 2.3 - Instrumentação do óleo

O óleo percorre por dutos até tanques de armazenamento (TQ-631102 e TQ-631103) antes de se encaminharem a uma próxima etapa de manuseio. Cada tanque contém um elemento radar, um sensor a contato no topo do tanque e um analisador BS&W.

A separação efetuada no vaso separador não ocorre com a precisão desejada então se faz necessário o uso de um analisador de BS&W para que uma quantidade mínima de água seja retirada do óleo novamente por diferença de densidade. O analisador informa ao CLP da existência de água produzida no tanque e então a água é escoada para ter seu devido encaminhamento.

O sensor a contato indica nível muito alto (LSHH) ao CLP de forma a causar um alarme (LAHH) na IHM se o óleo atingir tal nível.

O elemento radar se comunica com o CLP de forma a gerar na IHM alarmes de níveis muito baixo (LALL), baixo (LAL), alto (LAH) e muito alto (LAHH) porém só o nível muito baixo (LALL) causa intertravamento do processo, via CLP.

Após receber a informação do analisador de BS&W, o CLP irá liberar o óleo dos tanques iniciando-se uma nova etapa do processo.

### **Bombeamento do óleo**

O óleo segue por dutos até as bombas onde o processo de acionamento e proteção dos motores seguem os mesmos padrões das bombas de água. Os dutos tem uma instrumentação a mais visto que o óleo é o produto principal da estação. Em consequência disto temos transmissores de vazão (FT), pressão (PT) e temperatura (TT) enviando informações ao CLP em tempo real gerando alarmes de vazão baixa (FAL), pressão alta (PAH) e pressão baixa (PAL) na IHM.

Apesar de toda uma instrumentação eletrônica existente nesta etapa do processo se faz necessário o uso de válvulas independentes, válvulas mecânicas, para controlar a pressão nos dutos que levam o óleo. Exemplo disso são as válvulas de alívio e de peso como mostra a figura abaixo.



**Figura 13: Válvula de peso**

A válvula de alívio é responsável por liberar pressão quando esta pressão excede seu setpoint e a válvula de peso interrompe a passagem do fluido quando a pressão excede seu setpoint. Ambas são configuráveis trocando-se um diafragma existente em cada uma.

A partir deste momento o óleo segue para a estação de Tecarmo onde este óleo será tratado (aquecido) e retirado as impurezas e então encaminhado a uma refinaria.

## **2.4 - Instrumentação do gás**

O gás sai do vaso separador inicial, ainda contendo óleo e água produzida, e segue para outro vaso separador (V-541501) no qual irá se repetir o processo inicial. Neste vaso separador o conteúdo é novamente monitorado por sensores digitais indicando níveis muito baixo (LSLL), baixo (LSL), alto (LSH) e muito alto (LSHH) ao CLP gerando seus respectivos alarmes (LALL, LAL, LAH, LAHH). Após interpretar essas informações, o CLP manda um sinal elétrico para uma chave solenóide ativando a válvula de controle responsável por deixar escoar o óleo e a água produzida por baixo do vaso separador, porém a partir desse instante a água produzida e o óleo seguem juntos para a caixa API.

O gás, que é maior quantidade nesse momento, sai do vaso separador e segue para o dispersor (Z-541501), sendo monitorado sua vazão durante o caminho percorrido, e então é liberado para a atmosfera. Quando o gás, ainda contendo uma quantidade mínima de água produzida e óleo, chega no dispersor um transmissor de nível é responsável por enviar a informação ao CLP fazendo com que esse resto de água produzida e óleo siga para a caixa API.

## **2.5 - Instrumentação do controle de produtividade**

Após passar pelas válvulas multivias o produto bruto segue para tanques de armazenamento para testes (TQ-625001, TQ-625002 e TQ-625003). Esses tanques são de menor capacidade comparados aos tanques de armazenamento de óleo e de água produzida (TQ-631101, TQ-631102 e TQ-631103) visualizados na figura WWW.

Os tanques de testes tem uma instrumentação única, dispõe de um radar no topo de cada tanque pois a função destes é apenas de promover a separação dos produtos brutos (água produzida, óleo e gás).

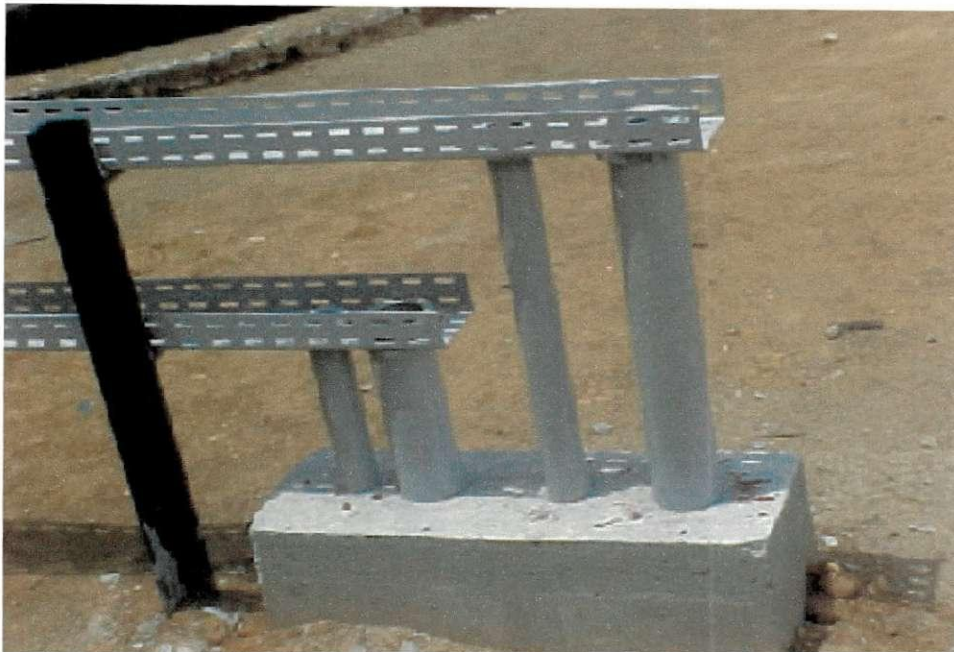
Assim que saem dos tanques de testes, cada parte do produto bruto é bombeado, através da bomba B-625001, e seguem para a célula de medição na qual um analisador de BS&W e um transmissor de vazão avaliam a quantidade e a concentração do produto gerando dados ao CLP que indica, via IHM, a quantidade de óleo, água e um total de todo o produto que circula pela célula.

Quando o produto bruto se aproxima de um determinado nível máximo dos tanques esta produção excedente escoar para as bombas B-631101 e B-631102, tendo a pressão monitorada, até que essa produção seja tratada e reenviada para os vasos separadores para que esse excedente se encaminhe para o início de todo o processo.

## **2.6 – Condicionamento da informação**

É importante mostrar que existem diferentes tipos de sensores na qual se diferenciam por serem sensores analógicos ou sensores digitais. A informação trafega entre os sensores e o CLP's via cabos diferenciados, cabos para sensores digitais são diferentes

dos cabos para sensores analógicos bem como a forma física que eles estão dispostos, ver figura abaixo



**Figura 14: Vias para cabos analógicos e digitais**

Os cabos, bem como suas respectivas bitolas, são padronizados por normas onde é levado em consideração o tipo de sinal que irá trafegar sobre o mesmo e a que distância estes cabos se estenderão.

### **3 - Automação do Processo**

Os sistemas de automação industrial representam uma excelente ferramenta para supervisão, controle e padronização de processos industriais. Através do uso destes sistemas é possível obter a redução de tempo e custos envolvidos nos processos.

O retorno do investimento em automação é viabilizado pelo corte no tempo de sua implantação e nas facilidades posteriores de disponibilidade e manutenção. A flexibilidade dos sistemas, portanto, é fundamental para garantir este retorno. A análise da solução deve levar em conta fatores como o tempo de projeto e facilidades oferecidas pelo sistema para operação da solução.

#### **3.1 - Integração dos Sistemas**

Todos os dispositivos sensores comunicam-se via 4-20 mA e dentre todos existem aqueles que dispõem de comunicação via rede. A comunicação via rede industrial não é somente uma substituição do protocolo 4-20 mA ou do transmissor inteligente, é um sistema completo permitindo a distribuição da função de controle para o equipamento no campo.

Algumas vantagens das comunicações digitais bidirecional são conhecidas dos protocolos atuais dos transmissores inteligentes: maior precisão, acesso multi-variável, diagnóstico e configuração remota e "multi-drope" de vários equipamentos num único par de fios.

Algumas desvantagem da tecnologia 4-20 mA são: velocidade de comunicação muito baixa para controle de malha fechada, interoperabilidade pobre entre equipamentos de diferente tipo e fabricante e também não é possível passar dados direto de um equipamento de campo para outro (comunicação ponto a ponto).

Os requisitos principais para as redes industriais foi superar esses problemas. O controle de malha fechada com desempenho igual ao sistema 4-20 mA necessita de alta velocidade. Alta velocidade significa consumo maior de energia, e isto não está de acordo com a necessidade de segurança intrínseca. Portanto, uma velocidade de comunicação moderadamente alta foi selecionada e o sistema projetado para ter um mínimo de sobrecarga de comunicação. Usando um agendamento, o sistema amostra da variável do sistema de controle, a execução do algoritmo e a comunicação consegue otimizar o uso da rede, não perdendo tempo. Assim, é conseguido um desempenho excelente da malha fechada.

Porém, na maioria das vezes é necessário adquirir um módulo de comunicação via rede (cada rede corresponde a um cartão) e em processos de grande porte isso pode causar problemas por falta de espaço físico no rack do CLP.

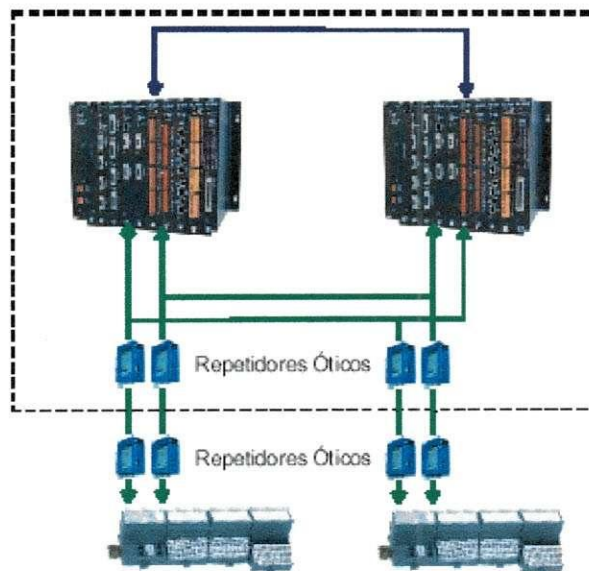
A solução para os problemas de espaço físico e de centralização de processamento se fez com o uso de redes redundantes pois grupos de sensores se concentram nas unidades remotas e das unidades remotas ao CLP a comunicação é via rede.

### 3.2 - Rede Redundante

Para processos que exigem alto grau de confiabilidade é indicado o uso de redes redundantes proporcionando ao processo grande confiabilidade e robustez.

Inicialmente o processo de automação busca detalhes do cliente de como ele deseja que funcione o processo, as prioridades e de como o ambiente industrial se apresenta, visto que esta automação é aplicada a uma estação coletora que já está em atividade com um grau mínimo de automação.

Visto que a extração de petróleo é um processo altamente dispendioso, é de suma importância que o processo não pare de operar em nenhum instante, pois isto pode significar perdas significativas para a Petrobrás. Uma solução proposta para tais exigências é o uso de CLP's em rede redundante.



**Figura 15: Rede Redundante entre CLP's**

A rede redundante é uma solução para que o processo em questão não pare por problemas no meio físico (um cabo que se rompe) ou por problemas em algum dos CLP's (ao menos que ambos parem de funcionar). A lógica consiste em ter dois CLP's ligados de tal forma que o processamento seja efetuado por apenas um dos CLP's e exista uma comunicação entre eles para que os dados sejam atualizados no outro CLP de modo que se houver algum problema no CLP o outro que fica em Stand-By assume instantaneamente sem que o processo pare.

Uma exigência das redes redundantes é o fato de não poder ligar nenhum dispositivo de I/O em nenhum dos chassis dos CLP's em redundância. Para isso a proposta é instalar pontos remotos de I/O para comunicar-se via rede industrial com os CLP's em redundância onde será efetuado todo o processamento dos dados. Uma proposta a ser estudada é a possibilidade de existir um certo grau de automação nas unidades remotas.

### **3.3 - Arquitetura de Automação**

A proposta é fornecer tecnologia embarcada em controladores programáveis, unidades programáveis, unidades de terminais remotas e produtos/serviços associados à automação do processo.

Focando as redes industriais como meio redundante, procuramos contemplar o projeto com os itens listados abaixo:

- Disponibilidade de redundância de rede;
- Possibilidade de redundância no nível de supervisão de sistema;
- Diagnóstico em todos os níveis: módulos de I/O e cabeças de campo via LED's e no supervísório via comunicação pela rede. Se ocorrer alguma falha num dispositivo escravo em estado standby, esta é preventivamente apontada pelo sistema redundante para que seja promovida a troca e garantida a disponibilidade do dispositivo para executar suas funções na redundância;
- Possibilidade de uso de repetidores em fibra ótica;
- Troca a quente de módulos de E/S e das cabeças de rede de campo sem a necessidade de reparametrização;
- Expansão a quente da rede, que permite ao usuário modificar a arquitetura, sem desativar o sistema. Cada rede é modificada forçando a comunicação para seu par redundante. Depois da implantação, o dispositivo mestre é reconfigurado, passando a reconhecer a nova arquitetura, quando retorna ao estado ativo. O controle não é interrompido durante todo o processo de modificação;
- Execução de manutenções no hardware ou software em uma das UCP's (reserva) sem interferir no processo;
- Possibilidade de instalação de dispositivos escravos não redundantes de outros fabricantes.

Elaborou-se diferentes projetos de forma a oferecer ao cliente (Petrobrás) várias arquiteturas de automação e dentre elas o cliente poder escolher a melhor arquitetura ao seu ver. Foram criadas redes com CLP's da Altus e da Allen-Bradley.

#### **Altus**

Com mais de duas décadas de atuação junto ao mercado brasileiro e internacional, a Altus disponibiliza hoje, para o setor de Automação Industrial, no Brasil e no exterior, produtos que primam pelo elevado grau de conectividade e possibilidade de expansão, permitindo, inclusive, a utilização de equipamentos de outros fabricantes de forma conjugada.

Com base nos critérios acima lançamos duas arquiteturas Altus, uma viabilizando a comunicação dos sensores mais inteligentes via Profibus DP e outra seria a comunicação de todos os sensores via 4-20 mA.

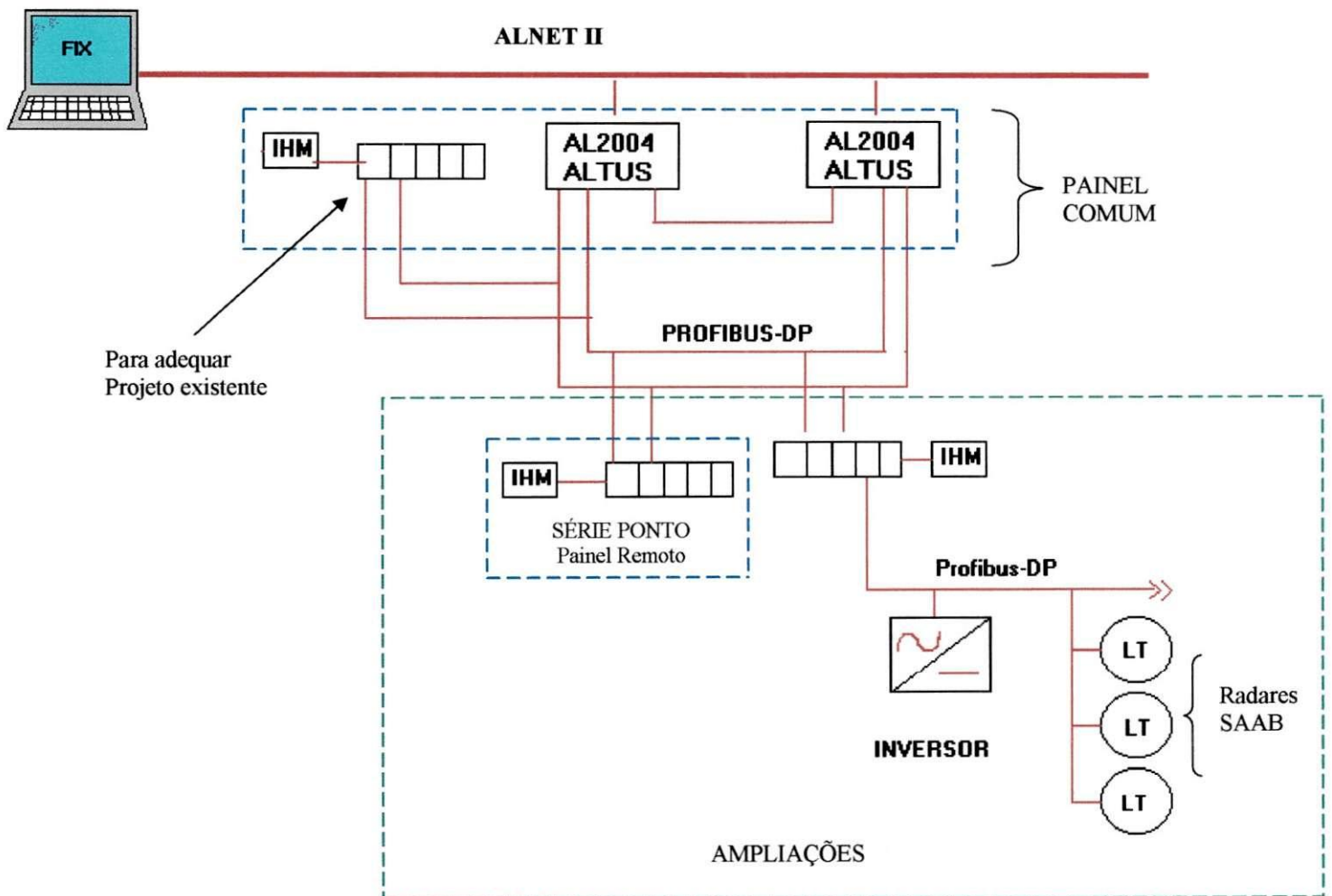


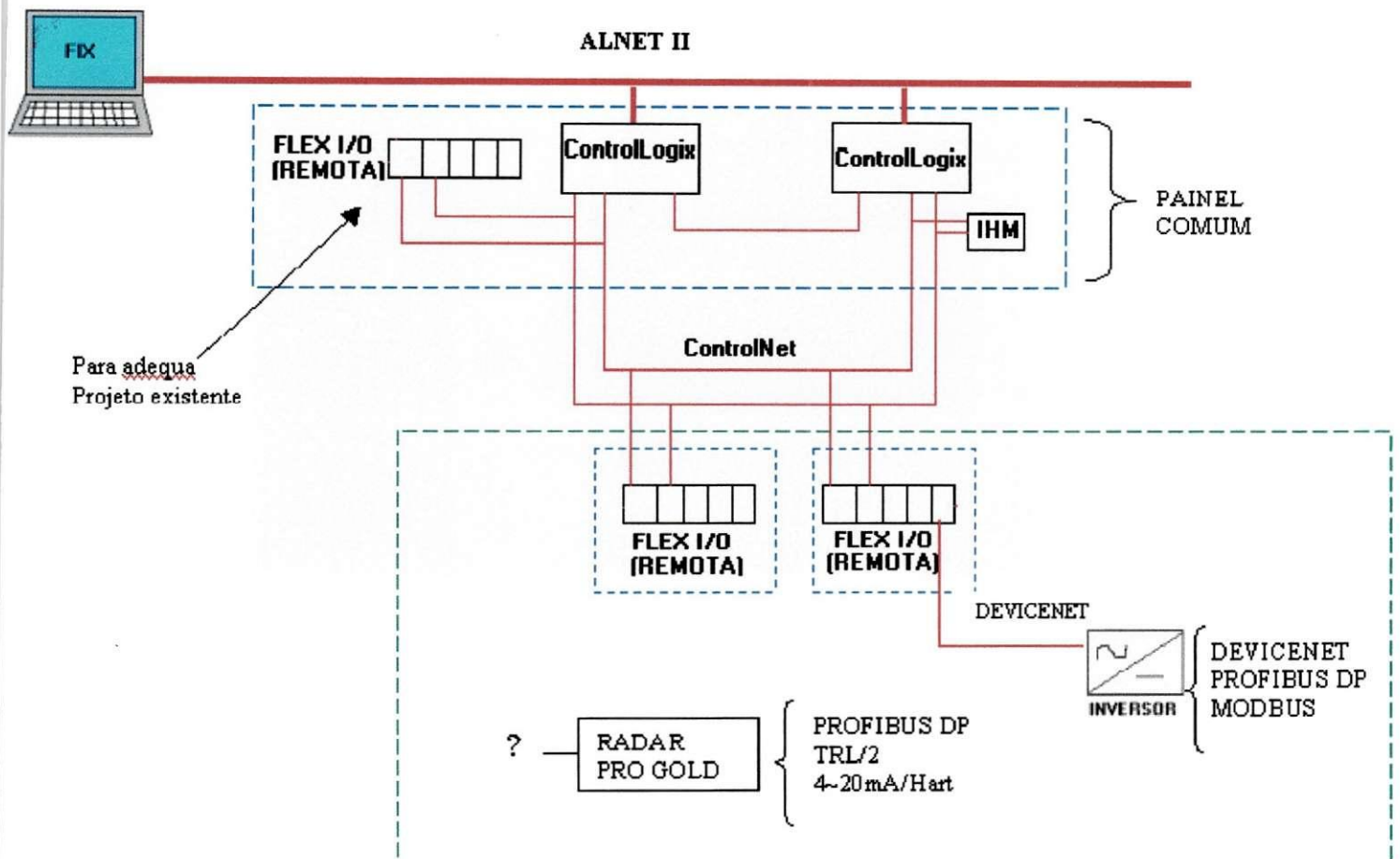
Figura 16: Arquitetura de automação da Altus

### Allen-Bradley

A Allen-Bradley e a Rockwell Automation são de origem norte americana e se apresentam como um dos líderes de mercado em dispositivos para automação industrial. A empresa fabrica sensores, CLP's e software de forma a integrar ao máximo uma determinada indústria aos seus padrões.

Baseado nas exigências citadas acima elaborou-se uma arquitetura compatível com o desejado segundo mostra a figura abaixo.





**Figura 17: Arquitetura de automação Allen-Bradley**

Diante da impossibilidade dos radares se comunicarem via ControlNet e as redes redundantes da Allen-Bradley só se comunicarem via ControlNet interliga-se o radar ao CLP através do sinal de 4-20 mA.

O CLP existente na estação coletora atualmente é da Allen-Bradley, isso faz com que a arquitetura da Allen-Bradley tenha uma vantagem sobre a arquitetura da Altus por possuir uma integração maior entre o CLP existente.

De forma contrária a arquitetura da Altus tem a vantagem sobre a arquitetura da Allen-Bradley por efetuar uma comunicação via rede Profibus DP com os radares, o que é uma grande vantagem.

## 4 - Considerações Finais

Para se efetuar um projeto de automação é necessário que se conheça o processo em detalhes e que o engenheiro não se limite ao seu conhecimento de título. Ter flexibilidade e poder dar escolhas ao cliente também é fundamental ao processo de desenvolvimento de qualquer projeto, dessa forma é de suma importância a sede por conhecimento visto que a cada dia surgem novas tecnologias no mercado.

Todo projeto inicia-se no processo de agregação de conhecimentos necessários para tanto. Foi de suma importância a participação dos setores de engenharia química, mecânica, tubulação, elétrica, instrumentação/automação e civil para elaboração deste projeto.

De posse das arquiteturas de automação a Petrobrás irá escolher uma delas e então inicia-se o processo de instalação do sistema. É importante mencionar que um projeto desta grandeza é obrigatório considerar futuras ampliações do processo.

A engenharia visa integrar os conhecimentos adquiridos na universidade com a desenvoltura pessoal a fim de solucionar problemas. Um engenheiro não é aquele que sabe de tudo, engenheiro é aquele que tem habilidade de procurar o conhecimento para cada tipo de problema enfrentado.

# Apêndice A

## Automação Industrial

O processo de automação de uma estação coletora de petróleo mobiliza todos os setores da estação, em todas as camadas hierárquicas de monitoração existentes. Existem três níveis básicos a serem atendidos ao se automatizar um ambiente industrial, como mostra a figura abaixo.

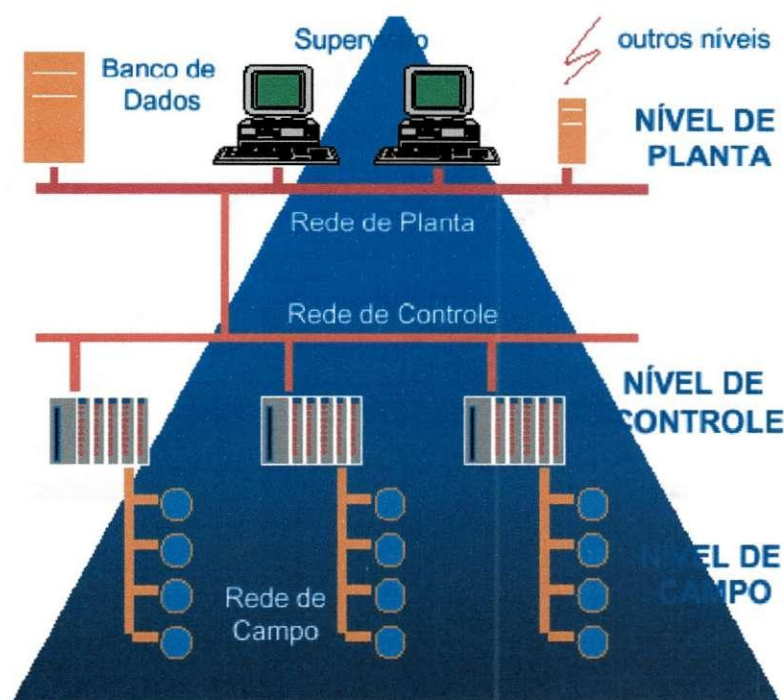


Figura 1A: Níveis de automação

Dentre os diferentes setores da estação existem metas a serem contempladas e um primeiro cuidado é listar quais as metas desejadas dentro de cada nível.

### Nível de Campo (controle discreto)

O nível de campo é utilizado para aquisição das variáveis de processo, envio de programação de “set-points”, aquisição do estado dos equipamentos, atuação sobre motores, válvulas e/ou outros equipamentos.

Estas redes estão sendo utilizadas cada vez mais como o sistema de comunicação entre sistemas de automação e dispositivos que ficam junto ao processo. A experiência tem mostrado que o uso da tecnologia de rede de campo pode economizar cerca de 40% dos custos de instalação, configuração, e manutenção da fiação.

Nesse nível é necessário obter grande velocidade de processamento e segurança intrínseca para que a atuação sobre os diversos equipamentos não comprometa a aquisição dos dados provenientes dos sensores por parte dos CLP's.

### **Nível de Controle (camada de controle)**

O nível de controle responde pelos equipamentos que compõe a linha de produção e pela leitura e acionamento de todos os sinais de campo. É neste nível que são feitos os cálculos de algoritmos de controle e otimização, bem como a aquisição de dados, monitoração dos processos e registros de alarmes, dados de produção e manutenção. O tamanho da mensagem que trafega é medido em kilobytes e o determinismo é necessário para garantir tempo mínimo para as ações de controle. A frequência de transferência nestes casos é de 1/10 ms a 1/10 s.

Neste nível, além das tecnologias proprietárias que normalmente atendem ISO 802.3 e IEE 802.2 - classe I, há hoje uma série de vias padronizadas (redes de campo).

Esse nível é responsável pela comunicação entre CLP's dessa forma também exige grande segurança. O nível de controle é a interface entre a camada de supervisão e os dispositivos de campo, capaz de gerar o monitoramento em tempo real de todo o processo bem como disponibilizar a interpretação das diversas variáveis em IHM's.

### **Nível de Planta (camada de informação)**

No nível de planta é necessário manter uma base de dados global e coletar, processar, armazenar e gerenciar diversos tipos de dados. Além disso, este nível é o que estabelece o plano básico de produção e onde são realizados os diagnósticos dos elementos do próprio nível e dos níveis inferiores. O tamanho da mensagem que trafega é medido em megabytes e não há necessidade de determinismo na rede (o tempo para completar as mensagens não precisa ter um limite máximo).

A rede em nível de planta deve ter alta confiabilidade, ser de arquitetura simples e com imunidade a ruído dentro de padrões razoáveis. As tecnologias aplicáveis aqui são a Ethernet (IPX, TCP/IP) de acordo com a norma IEEE 802.3, Nível 1. Nos dias de hoje, neste nível pode-se conectar os sistemas à Internet, ampliando a interoperabilidade.

Esse nível comporta todo o banco de dados do sistema. Nesse nível estão os supervisórios bem como setores de planejamento e controle de produção. A comunicação nesse nível caracteriza-se por conter uma grande quantidade de informação.

Cada nível contém características próprias a serem detalhadas segundo sua aplicação.

### **Redes Industriais**

As redes industriais são divididas em três níveis de hierarquias, cada qual responsável pela conexão de diferentes tipos de equipamentos com suas próprias características de informação.

O nível mais alto, nível de informação de rede, é destinado a um computador central que processa o escoamento da produção da planta e permite operações de monitoramento estatístico da planta sendo implementado por softwares gerenciais. O padrão Ethernet operando com protocolo TCP/IP é o mais comumente utilizado neste nível.

O nível intermediário, nível de controle de rede, é a rede central localizada na planta incorporando CLP's e PC's. A informação deve trafegar neste nível em tempo real para garantir a atualização dos dados nos softwares que realizam a supervisão da aplicação.

O nível mais baixo, nível de controle discreto, se refere geralmente às ligações físicas da rede ou o nível de I/O. Este nível de rede conecta os equipamentos de baixo nível entre as partes físicas e de controle.

As redes de equipamentos são classificadas pelo tipo de equipamento conectado a elas e o tipo de dados que trafega pela rede. Os dados podem ser bits, bytes ou blocos. As redes com formatos de bits transmitem sinais discretos contendo simples condições ON/OFF. As redes com dados no formato de bytes podem conter pacotes de informações discretas e/ou analógicas e as redes com dados em formato de blocos são capazes de transmitir pacotes de informação de tamanhos variáveis.

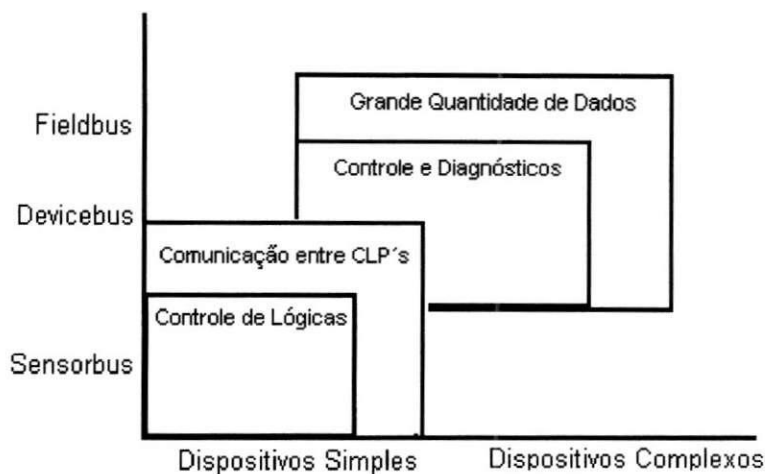
Assim classificam-se as redes quanto ao tipo de rede de equipamento e os dados que ela transporta.

- Rede sensorbus – dados no formato de bits
- Rede devicebus – dados no formato de bytes
- Redes fieldbus – dados no formato de pacotes de mensagens

A rede sensorbus conecta equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Os equipamentos deste tipo de rede necessitam de comunicação rápida em níveis discretos e são tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. Estas redes não almejam cobrir grandes distâncias, sua principal preocupação é manter os custos de conexão tão baixos quanto for possível. Exemplos típicos de rede sensorbus são Seriplex, ASI, Interbus e EIB.

A rede devicebus preenche o espaço entre redes sensorbus e fieldbus e pode cobrir distâncias de até 500 m. Os equipamentos conectados a esta rede terão mais pontos discretos, alguns dados analógicos ou uma mistura de ambos. Além disso, algumas destas redes permitem a transferência de blocos em uma menor prioridade comparado aos dados no formato de bytes. Esta rede tem os mesmos requisitos de transferência rápida de dados da rede de sensorbus, mas consegue gerenciar mais equipamentos e dados. Alguns exemplos de redes deste tipo são DeviceNet, Smart Distributed System (SDS), Profibus e Interbus.

A rede fieldbus interliga os equipamentos de I/O mais inteligentes e pode cobrir distâncias maiores. Os equipamentos acoplados à rede possuem inteligência para desempenhar funções específicas de controle tais como loops PID, controle de fluxo de informações e processos. Os tempos de transferência podem ser longos mas a rede deve ser capaz de comunicar-se por vários tipos de dados (discreto, analógico, parâmetros, programas e informações do usuário). Exemplo de redes fieldbus incluem IEC/ISA SP50, Fieldbus Foundation, Profibus e Hart.



**Figura 2A: Classificação das redes**

Existem diversas redes industriais em atividades. Uma dificuldade encontrada na prática é o fato de existirem dispositivos sensores com um único modo de comunicação. Sensores fabricados nos Estados Unidos seguem um padrão de comunicação DeviceNet e ControlNet em contrapartida os dispositivos fabricados na Europa seguem um padrão de comunicação Profibus DP e Profibus AP, porém existem aqueles que possuem ambos os modos de comunicação bem como outros tipos de comunicação com o mesmo grau de incompatibilidade. Independente do modo de comunicação digital, todos dispositivos sensores são capazes de efetuar comunicação via 4-20 mA.

É de grande importância uma breve informação sobre cada rede industrial de modo a entender os parâmetros diferenciais entre elas.

## **Profibus**

Profibus é uma rede de campo aberta, padronizada na Europa e de uso internacional, definida na Norma EN50170. A versão de mais destaque é a PROFIBUS-DP, que é otimizada para conexão rápida e econômica. Esta versão é destinada especialmente para comunicação entre sistemas de controle de automação e I/O distribuídos. Pode ser usada para substituir transmissão de sinais como 24 Vdc ou 4 a 20 mA.

É a mais empregada das redes industriais abertas podendo ser o modo de comunicação entre CLP's bem como entre CLP e dispositivos sensores de campo. Tal comunicação contém duas sub divisões assim especificadas.

**Profibus DP** - A comunicação via profibus DP caracteriza-se por ter uma alta velocidade de comunicação e uma grande imunidade a ruído desta forma essa comunicação é bastante empregada na comunicação entre CLP's ou entre CLP e dispositivos dotados de um alto grau de inteligência.

**Profibus PA** – Profibus PA é uma comunicação para aplicação em automação dos dispositivos na qual sua principal característica é a grande qualidade de transmissão de dados. Utiliza-se bastante Profibus PA entre dispositivos sensores e CLP.

A comunicação via rede Profibus pode ser efetuada em cabos blindados, par trançado, fibra ótica, comunicação sem fio (através de infravermelho com uma limitação de 15 m) dentre as diversas variações possíveis.

## **AS-Interface**

AS-Interface é um sistema de rede de sensores e atuadores de baixo nível. Normalmente, os sinais dos sensores e atuadores dos processos industriais são transmitidos através de um grande número de cabos. O sistema AS-I permite a simplificação deste sistema de fiação e ligação, substituindo o então sistema rígido de cabos, por apenas um par de fios, que podem ser usados por todos sensores e atuadores. Este par de fios é responsável pela alimentação dos sensores/atuadores e pela transmissão dos dados binários de entrada e saída. A rede foi concebida para complementar os demais sistemas e tornar mais simples e rápida a conexão dos sensores e atuadores com os seus respectivos controladores.

O sistema baseia-se numa comunicação mestre-escravo, cujo mestre é responsável pelo direcionamento das "perguntas" e tratamento das "respostas" dos escravos. A comunicação entre o mestre e os escravos é feita serialmente, através de um par de fios não trançados e nem blindados. Inicialmente, o mestre "fala" com o primeiro escravo, atualiza as saídas do mesmo (se existirem) e pergunta o estado binário das entradas. Imediatamente o escravo responde e, após um pequeno intervalo, o mestre "fala" com o próximo escravo. Após o último escravo, o ciclo se completa e o mestre começa a conversar novamente com o primeiro escravo. O ciclo de varredura completo tem duração de até 5 ms. Um escravo AS-I pode possuir no máximo 4 entradas digitais e no máximo 4 saídas digitais.

A rede ASI é um sistema de um único mestre podendo suportar até 62 dispositivos escravos. Uma outra vantagem das redes ASI é o fato de poder atuar em conjunto com a rede Profibus DP, sendo utilizada como uma sub rede da Profibus DP.

Destaca-se nas redes ASI a facilidade de se conectar um dispositivo sensor pois tal conexão pode ser efetuada em qualquer ponto do cabo e a qualquer instante.

## **EIB ( European Installation Bus)**

Sobre as rigorosas exigências do mercado que visam a flexibilidade e facilidade de instalação elétrica em conjunto com o desejo de minimizar o consumo elétrico das redes é que foi criado a rede EIB.

Similar a rede ASI a rede EIB tem a facilidade de comunicação através da rede telefônica bem como consumo de energia menor que a rede ASI. Um outro recurso é poder trocar dados com a rede Profibus.

A tabela 01 mostra as qualidades de cada rede e os parâmetros a serem considerados no instante de escolher qual a rede mais adequada para cada caso.

	<b>AS-Interface</b>	<b>Profibus DP</b>	<b>Profibus PA</b>	<b>EIB</b>
<b>Sensores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•digitais entrada/saída</li> <li>•analógicos entrada/saída</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•digitais entrada/saída</li> <li>•analógicos entrada/saída</li> <li>• inteligentes, drivers, sensores escravos com pré processamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• presentes em áreas não agressivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•digitais entrada/saída</li> <li>•analógicos entrada/saída</li> <li>•Drivers</li> </ul>
<b>Numero escravos</b>	de		15 sensores em áreas não agressivos;	
•Típico	20	20-30	20 sensores com link DP/PA com controlador DP;	
•máximo	62	125	31 sensores com link DP/PA em área agressiva; 125 sensores com link DP/PA;	
<b>Tempo Resposta</b>	de	< 1 ms a 12 Mbit/s	200 ms	100 ms
	< 5 ms	< 5 ms a 1.5 Mbit/s		
<b>Tamanho da rede</b>	Máx. de 300m (meio elétrico) com repetidores/ extensores;	9.6 Km (meio elétrico) 90 Km (fibra ótica)	1.9 Km	1 Km
<b>Topologia</b>	Linha, árvore	Linha, árvore, redundante e estrela	Linha, árvore e estrela	12 linhas em uma área; máximo de 15 áreas
<b>Meio transmissão</b>	de Cabo blindado a dois fios	Cabo blindado a dois fios	Cabo blindado a dois fios	Cabo blindado a dois fios
<b>Grau de Proteção</b>	IP 20 IP 65 a 67	IP 20 IP 65 a 67	IP 20 IP 65 a 67	IP 20
<b>Padronização (IEEE)</b>	EN 50295	IEC 61158 / EN 50170	IEC 61158-2	EM 5009D / ANSI EIA 776
<b>Fonte de alimentação barramento</b>	de Sim	Não	Sim	Não

**Tabela 1A: Comparativo entre algumas redes industriais**



## **ControlNet**

A rede Controlnet é uma rede aberta com grande aplicação no mercado. Fabricado pela RockWell Automation, esta rede permite o acesso de todos os nós, ao mesmo tempo, aos dados de uma única fonte. O fato de poder efetuar uploads e downloads em tempo real faz com que o tempo de processamento da rede seja reduzido em comparação com outras redes. Deste fato surge três implicações diretas: controle, configuração e coleta de dados.

Essa rede utiliza de meio físico cabos ou fibra ótica através do canal DH+. Tal rede é apropriada para comunicação entre CLP's ou entre CLP e supervisor.

## **DeviceNet**

A rede DeviceNet tem um grande poder de sincronismo entre dispositivos sensores e CLP's visto que também possuem a capacidade de efetuar uploads e downloads em tempo real. É uma rede bastante flexível podendo monta-la com mestre / escravo, multi mestre / escravo, ponto a ponto ou qualquer outra estrutura.

## Apêndice B

### Inversores de frequência

Para implementar o controle de velocidade dos motores de indução dois inversores de frequência foram conectados entre a alimentação da rede (480V a 60Hz) e os bornes de alimentação dos motores.

Os inversores são constituídos basicamente de um circuito retificador trifásico, um circuito de chaveamento, osciladores, circuitos comparadores, um processador e circuitos de I/O.

Os inversores de frequência convertem (modulam) a tensão trifásica alternada da rede de alimentação em tensão contínua. Essa conversão é realizada através do chaveamento da tensão contínua na saída do retificador cuja frequência de chaveamento é proporcional ao setpoint gerado pelo processador. Esse chaveamento é realizado por dispositivos específicos (IGBT's, SCR's, Tiristores, etc) e a frequência de chaveamento corresponde à frequência de disparo desses dispositivos.

A velocidade de rotação do motor é proporcional à frequência do sinal de alimentação das bobinas do estator do motor. Sendo assim, através do inversor de frequência é possível variar a velocidade de rotação do motor para qualquer valor de operação do inversor.

A frequência do sinal de saída do inversor (trem de pulsos) é gerada através de uma modulação PWM. Existem basicamente duas técnicas de modulação que são usadas por inversores:

**Modulação por vetor espacial** – Varia-se a taxa da largura do pulso de vetores de tensão adjacente com uma magnitude de tensão constante sobre um período total. Essa técnica de modulação faz com que a tensão de saída seja 85% da tensão de entrada.

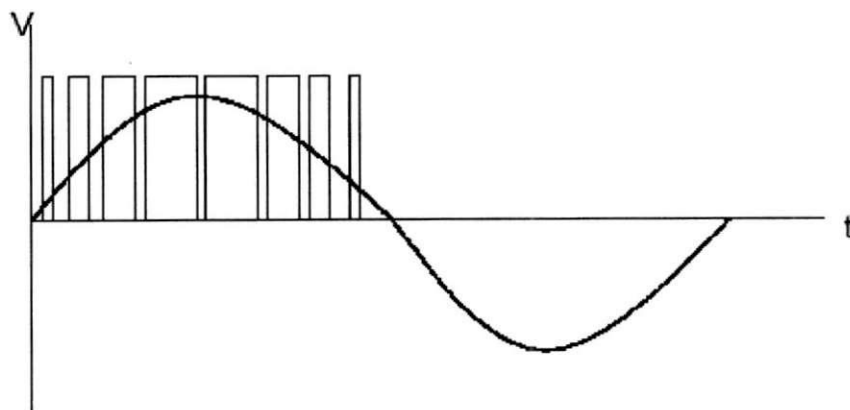
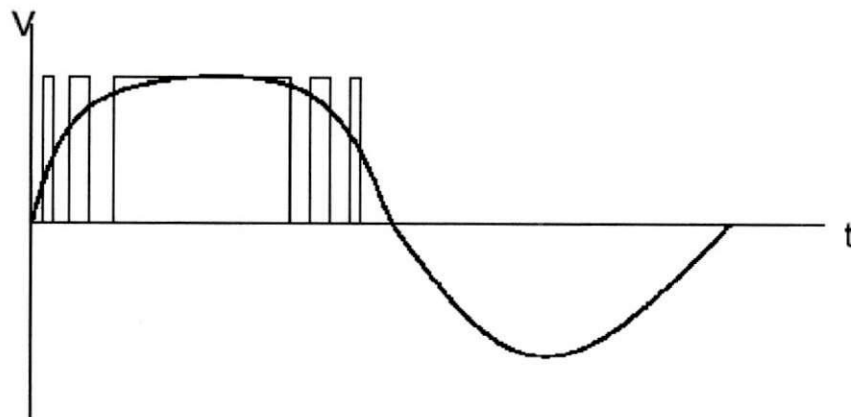


Figura W1: Modulação de vetor espacial

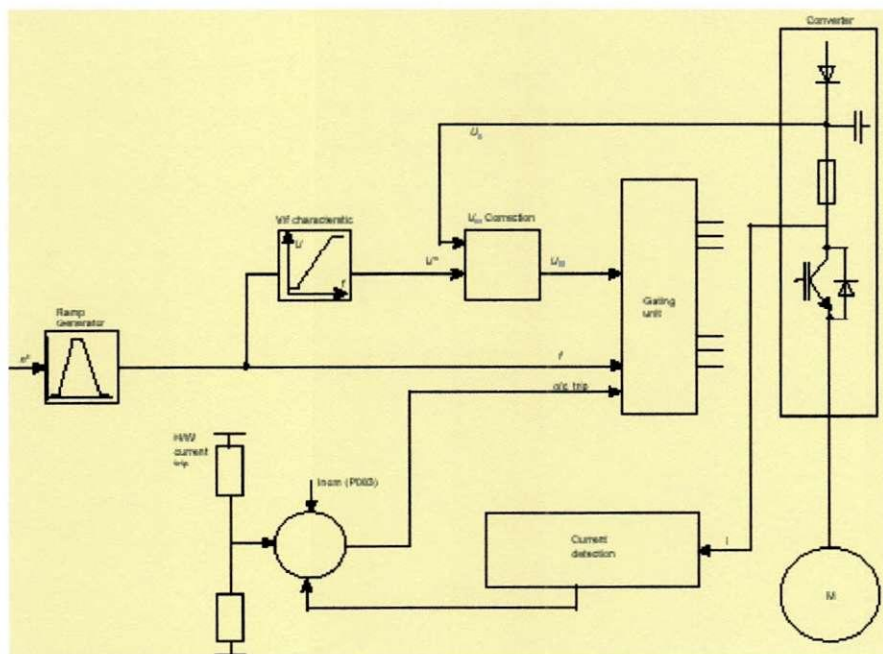
**Modulação pelos flancos** – Varia-se a taxa da largura do pulso de vetores de tensão adjacente com uma magnitude de tensão constante sobre um período total unicamente nos flancos do período. Na modulação por flancos a tensão de saída é igual a tensão de entrada.



**Figura WW2: Modulação pelos flancos**

A modulação de vetor espacial gera um menor consumo, uma maior performance dinâmica em toda a faixa de velocidade e um ripple no torque reduzido.

O controle de velocidade dos motores é efetuado no CLP. O inversor envia os dados referentes à velocidade do motor e assim é efetuado um controle no CLP gerando um setpoint que irá retornar ao inversor de modo a corrigir a velocidade do motor para tal valor de referência.



**Figura WW: Controle V / f**

Pelo motor de indução funcionar como um transformador, a tensão deve ser reduzida, caso a frequência seja reduzida.

Uma Tensão Linear com a Curva de Frequência é adequada à maioria das aplicações. Uma curva quadrática pode ser utilizada com Bombas e Ventiladores economizando energia através da redução das perdas magnetizantes.

Curvas especiais podem ser programadas para motores e aplicações especiais. Em frequências mais elevadas, pode ser necessário uma tensão mais elevada, mas normalmente não é possível. Os Controles Vetorial e Fluxo de Corrente (FCC) controlam os níveis de fluxo independentemente.

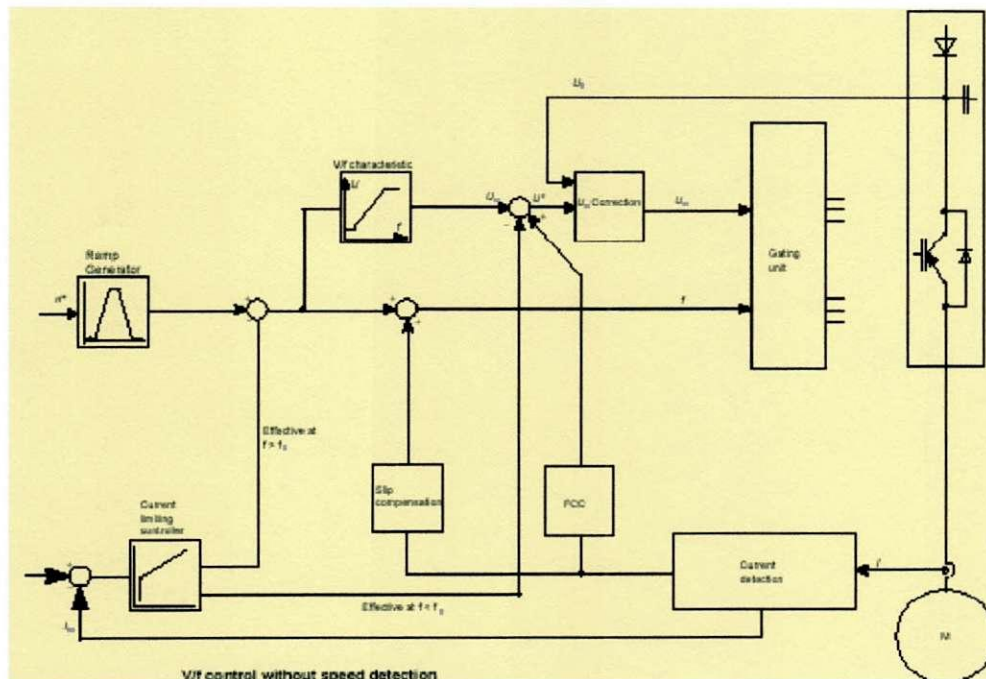
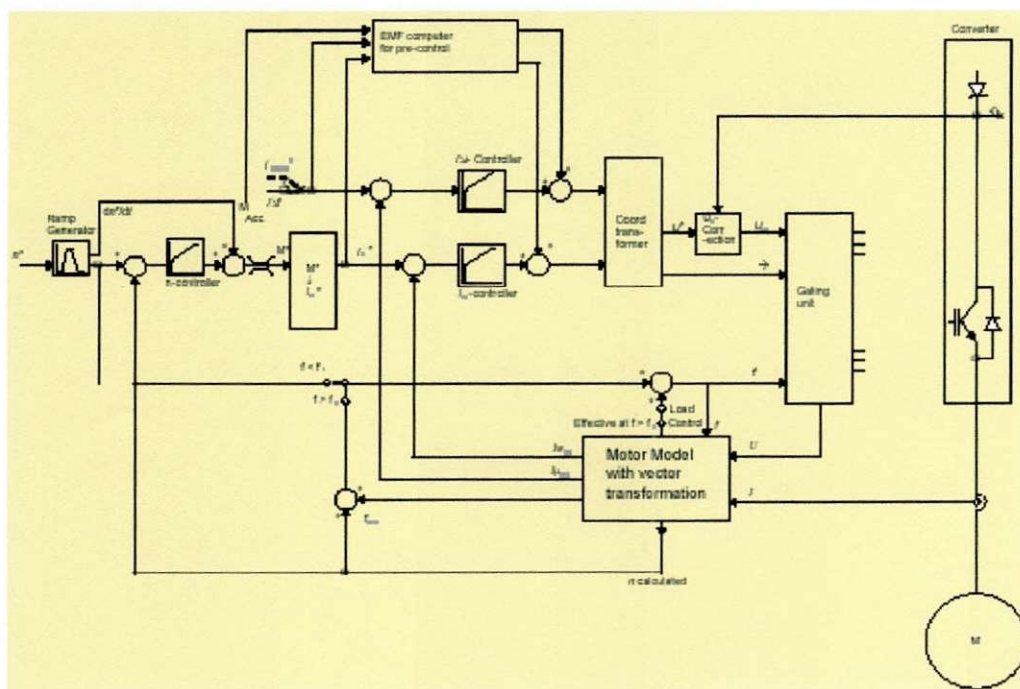


Figura WW: Controle de Corrente de Fluxo FCC

Se a tensão do motor é conhecida, então a corrente de saída total pode ser dividida em parte real (carga) e imaginária (fluxo). A parte do Fluxo pode então ser controlada, e o fluxo no motor otimizado para todas as condições. Este é o controle de corrente de fluxo (FCC). Não é tão eficaz quanto o controle vetorial total, o qual também leva em consideração a posição do rotor.



**Figura WW: Operação de controle vetorial**

Em uma máquina CC, o campo é um enrolamento separado, portanto as correntes de Armadura (Torque) e de Campo (Fluxo), podem ser controladas de forma independente.

Em uma máquina CA, as correntes do enrolamento do estator geram o Fluxo e o Torque, portanto, é difícil controlar Torque e Fluxo separadamente.

O controle do *módulo* da corrente não permitirá o controle independente. Portanto, o módulo e a fase - o *Vetor* - da corrente devem ser controlados.

O controle *independente* das correntes de Fluxo e Torque permite uma excelente performance - Torque em velocidade zero, resposta rápida a variações de carga, etc.

Para controlar Torque e Fluxo no Motor CA, a corrente do estator deve ser controlada em módulo e fase - *Vetorialmente*. Para controlar a fase em relação ao rotor, a posição do rotor deve ser conhecida. Conseqüentemente, para controle Vetorial total, deve-se utilizar um encoder para informar ao inversor a posição do rotor.

Uma limitação física dos inversores é quanto ao comprimento do cabo que irá interligar o inversor ao motor. Para solucionar esse tipo de problema pode-se instalar um reator de saída e estará tudo resolvido. Com reator de saída pode-se usar cabos com mais de 50 metros para cabos blindados e mais de 100 metros para cabos sem blindagem.

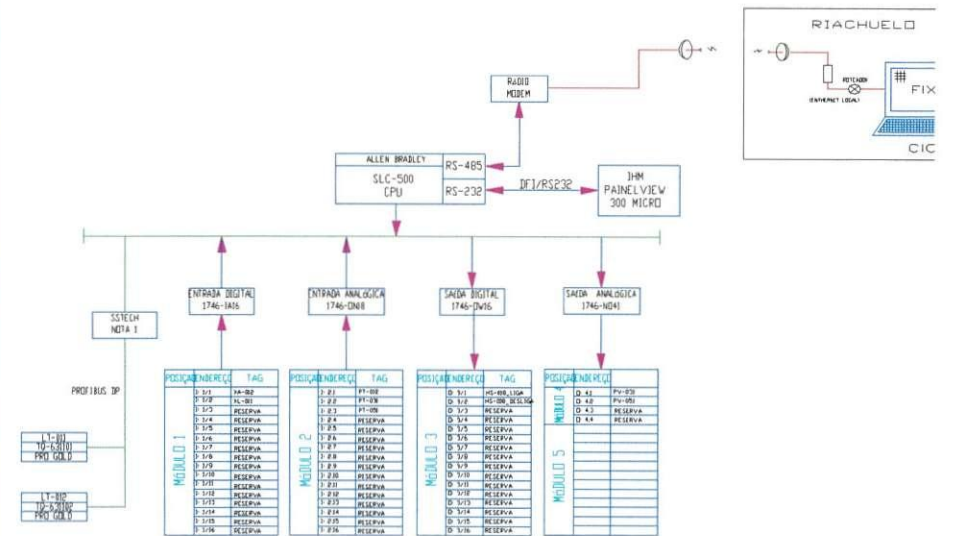
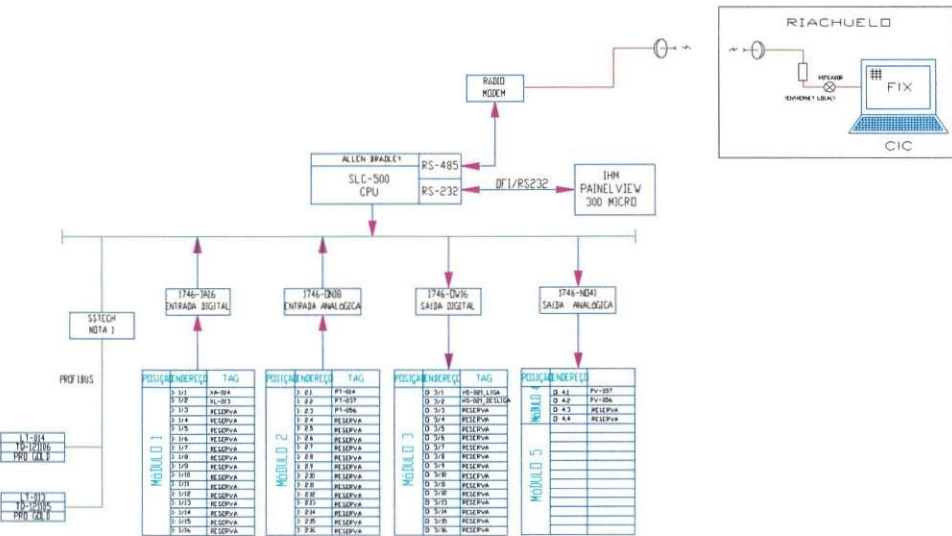
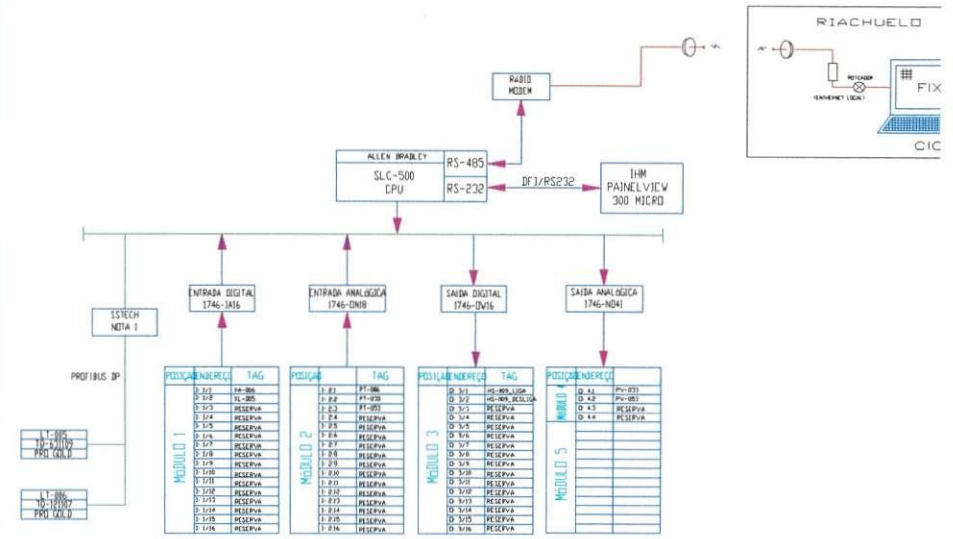
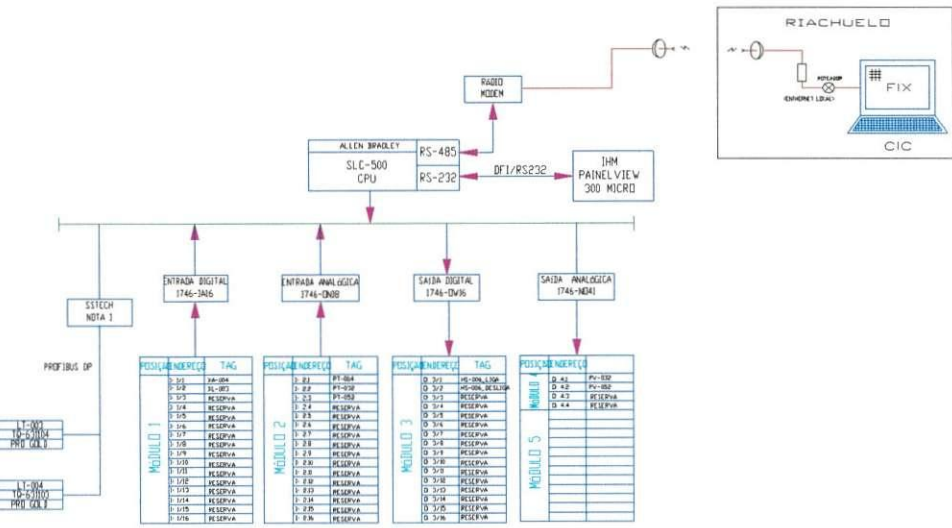
Para completar o estudo sobre inversores é necessário alguns cuidados nas regras de instalações nas quais podemos citar:

- Aterrar todas as partes metálicas com cordoalhas planas;
- Utilize cabos blindados ou pares torcidos onde for possível;

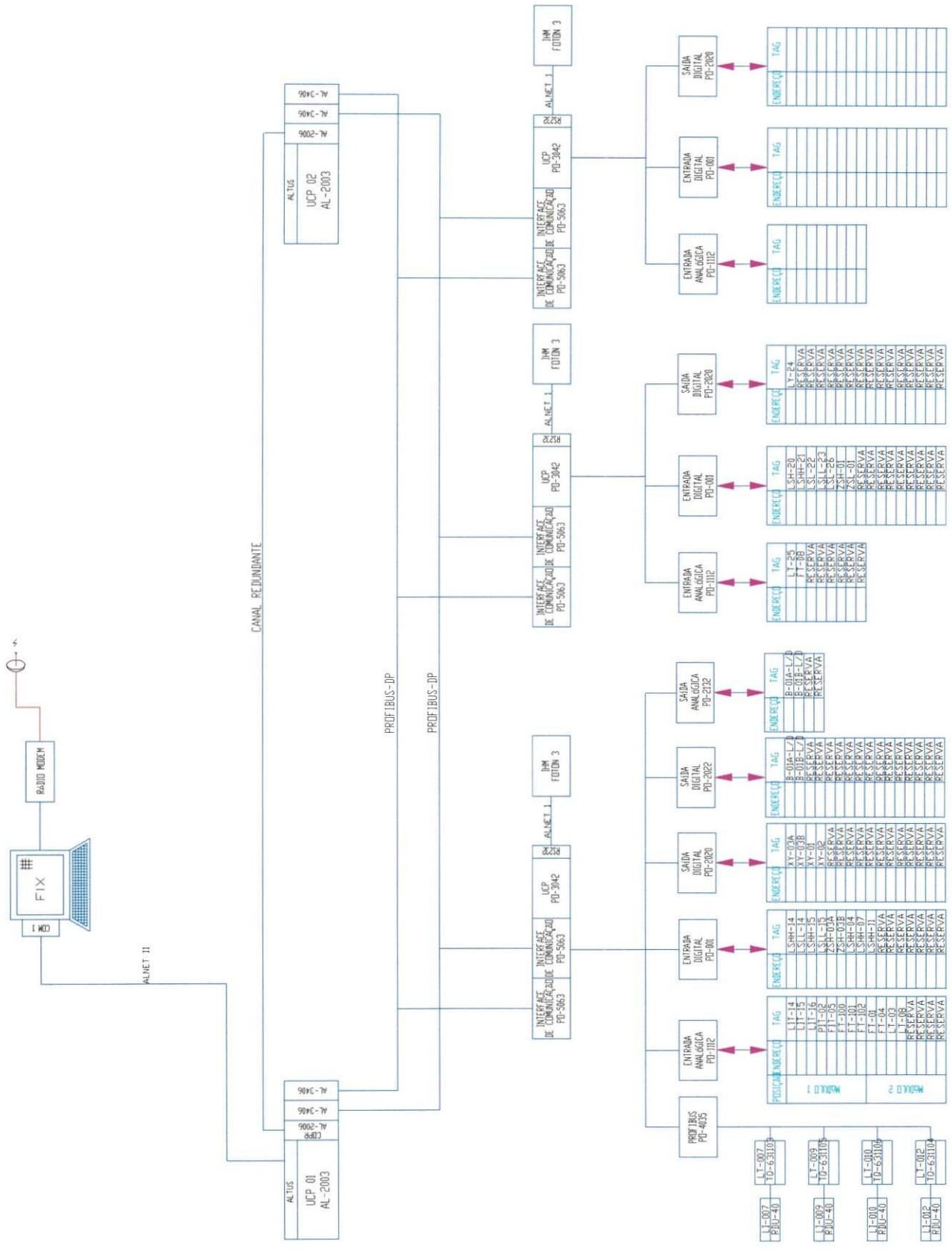
- Separar os cabos de sinal e de potência, aterrando ambas as terminações dos cabos blindados. Os cabos de sinal podem sofrer uma outra separação entre os cabos de sinais analógicos e sinais digitais;
- Suprimir todas as bobinas, contactores, relés, solenóides, etc. utilizando supressores RC;
- Evite execuções ou loop's com cabos extensos mantendo os cabos próximos à partes metálicas aterradas;
- Aterre ambas as partes dos cabos não utilizados;
- Planeje a instalação tendo em mente a EMC;

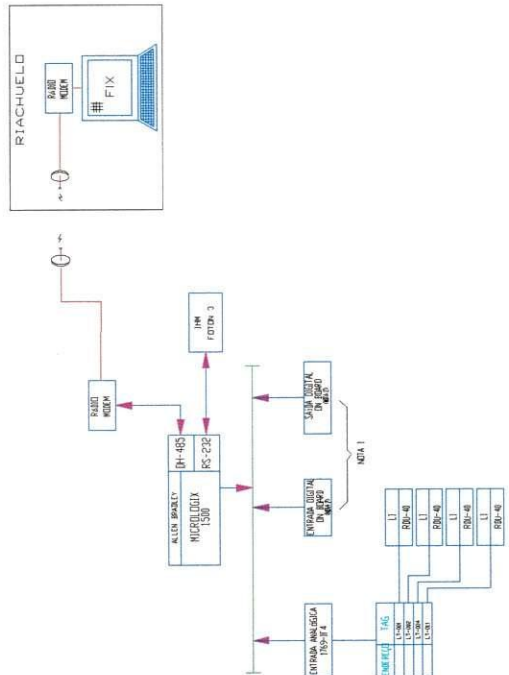
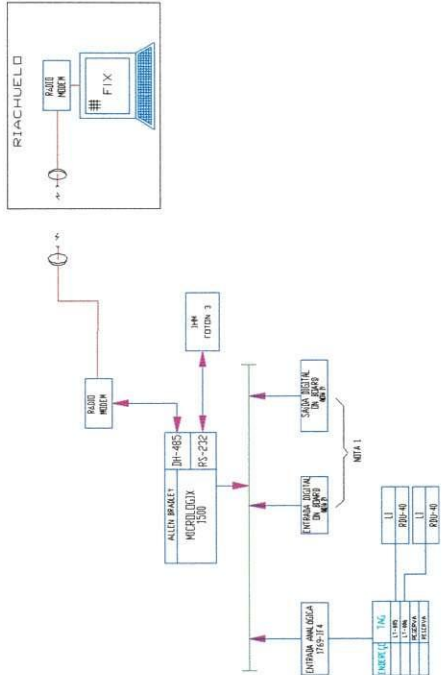
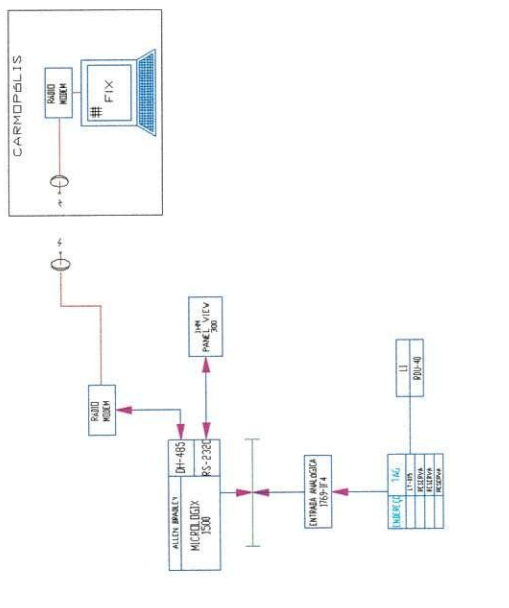
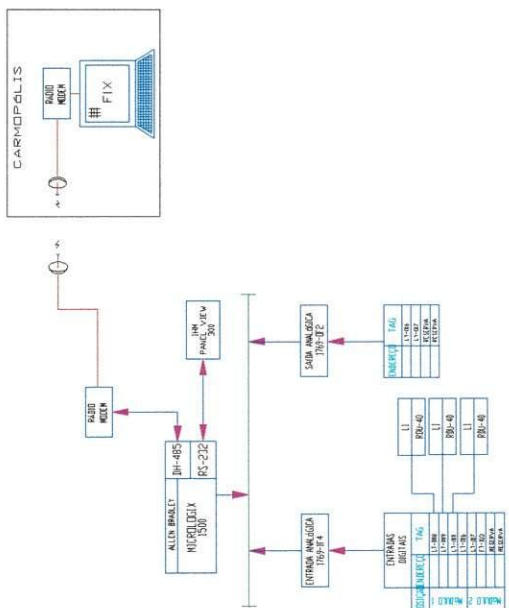
## **Apêndice C**

### **Arquiteturas de automação**

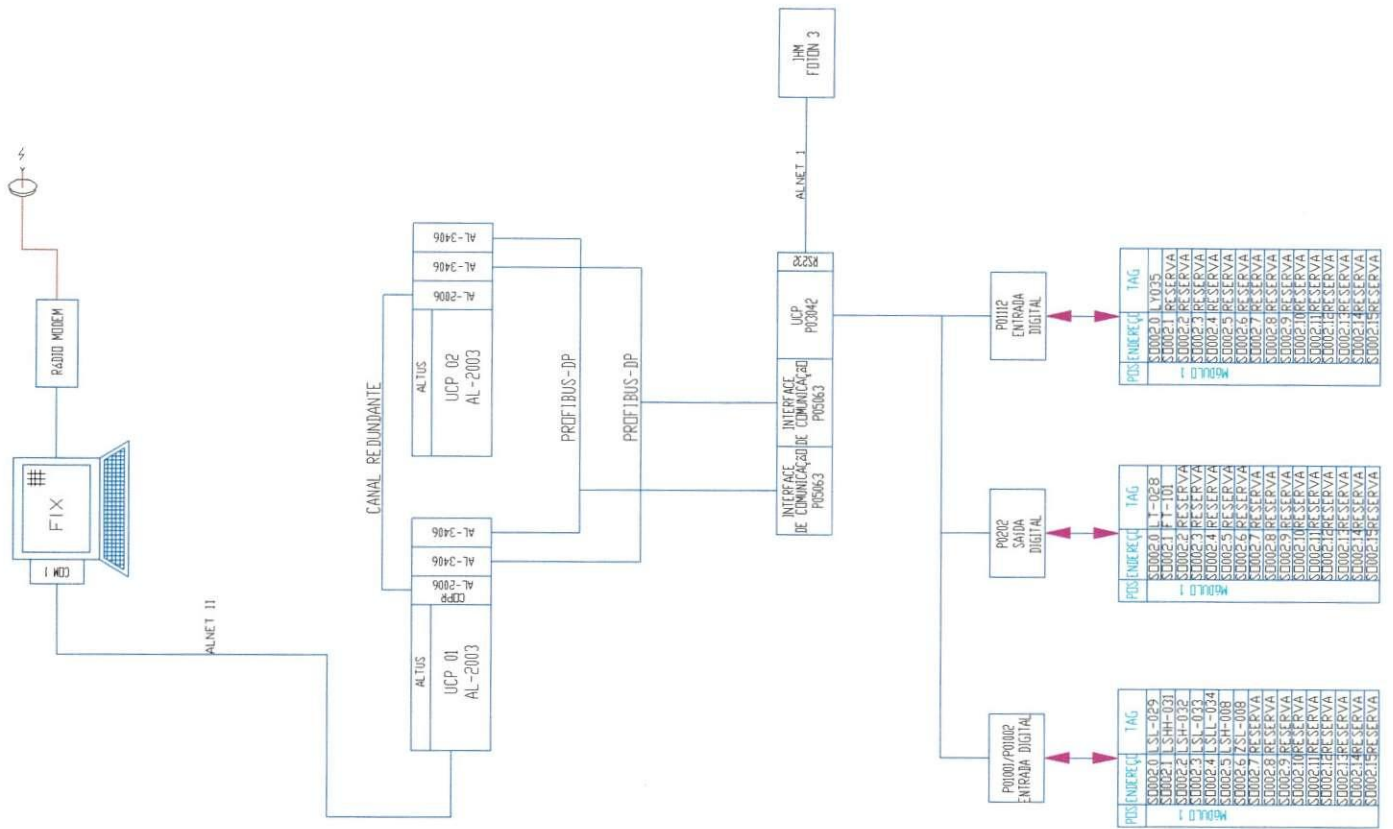


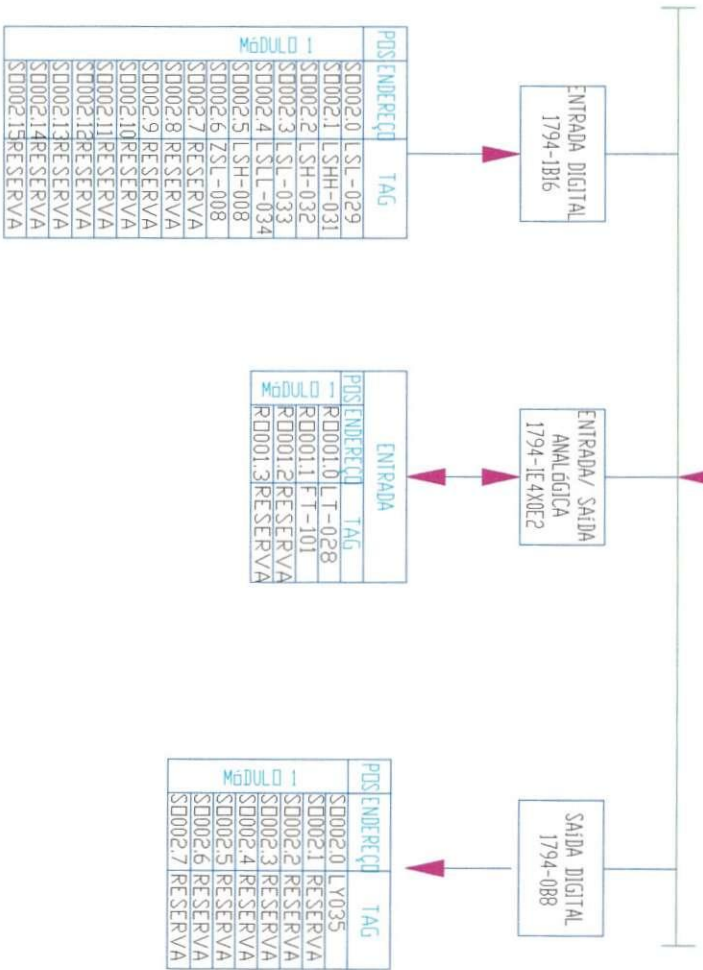
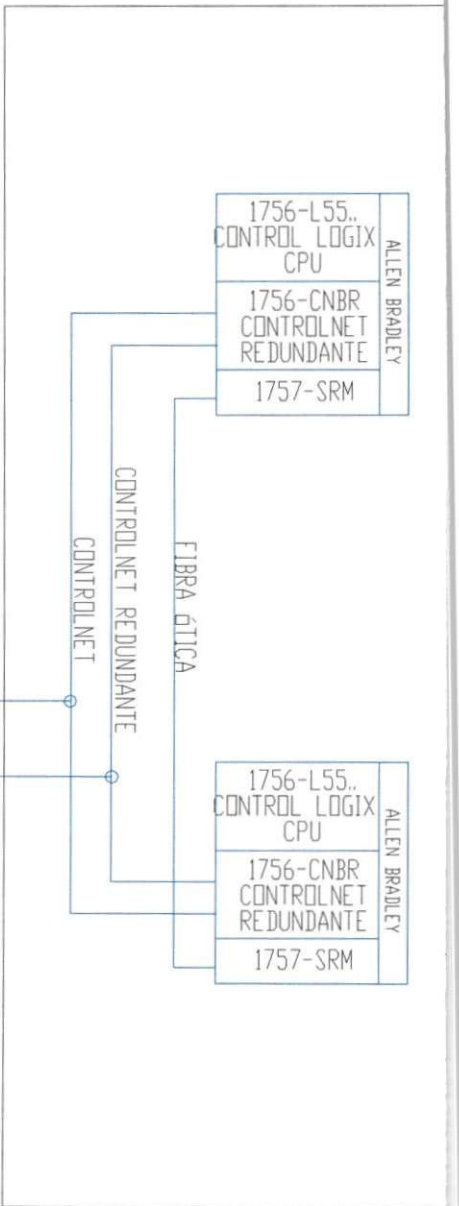




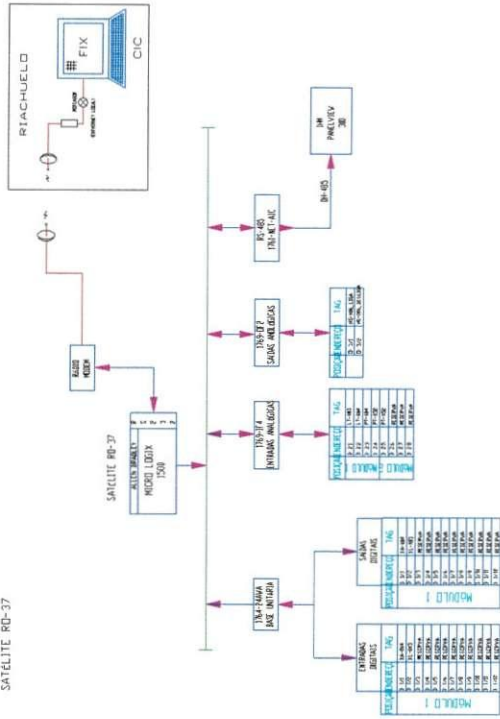




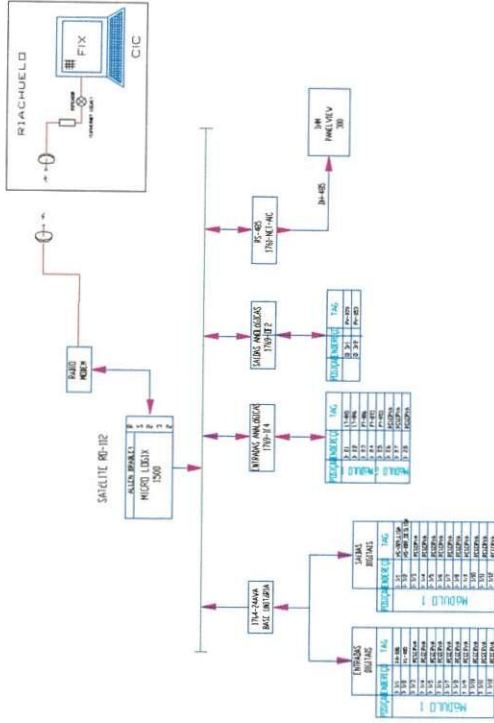




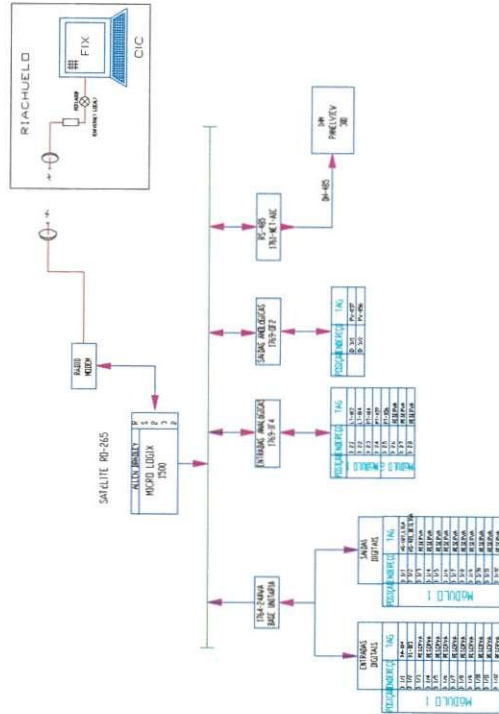
SATELITE RD-37



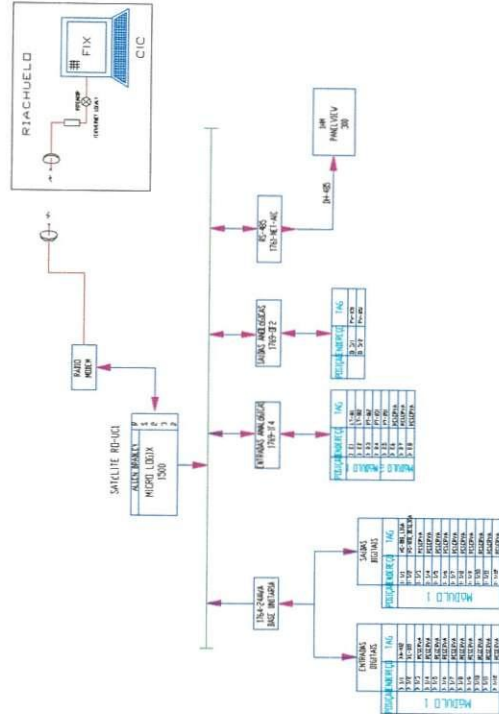
SATELITE RD-112

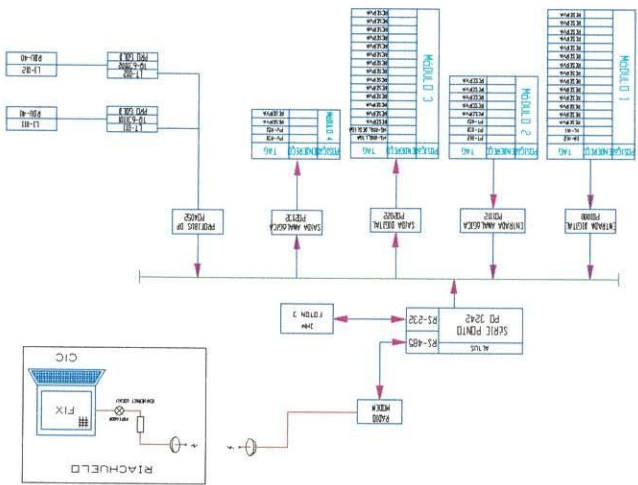


SATELITE RD-85

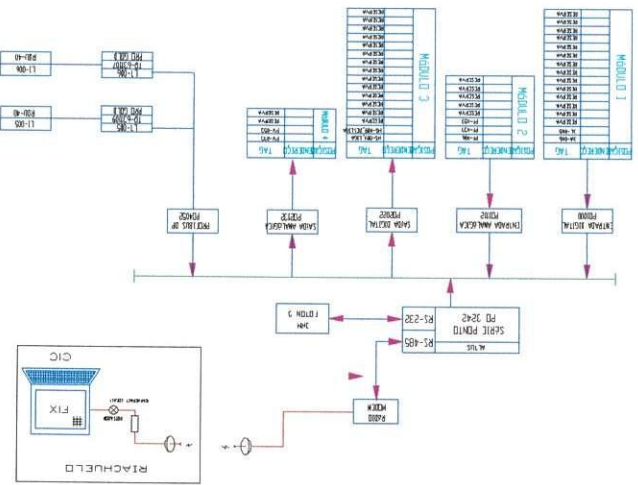


SATELITE RD-UC1

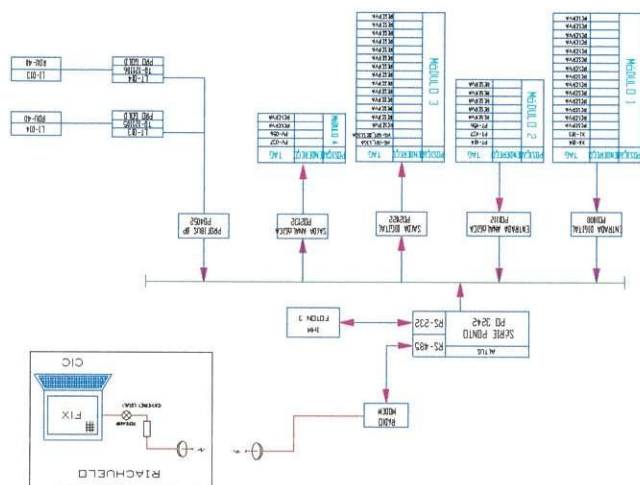




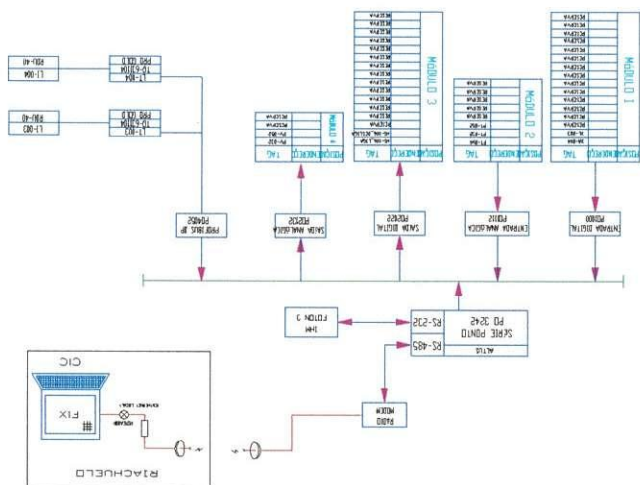
SATELLITE RD-112



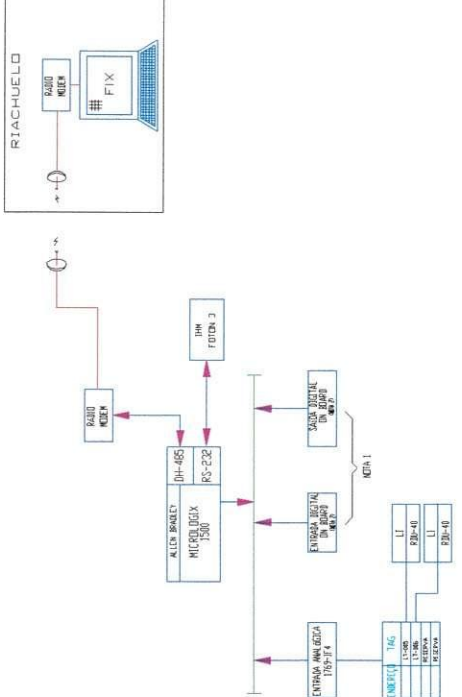
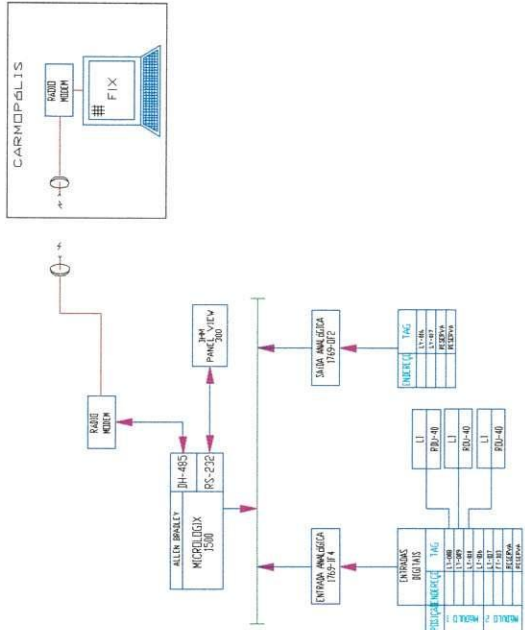
SATELLITE RD-112



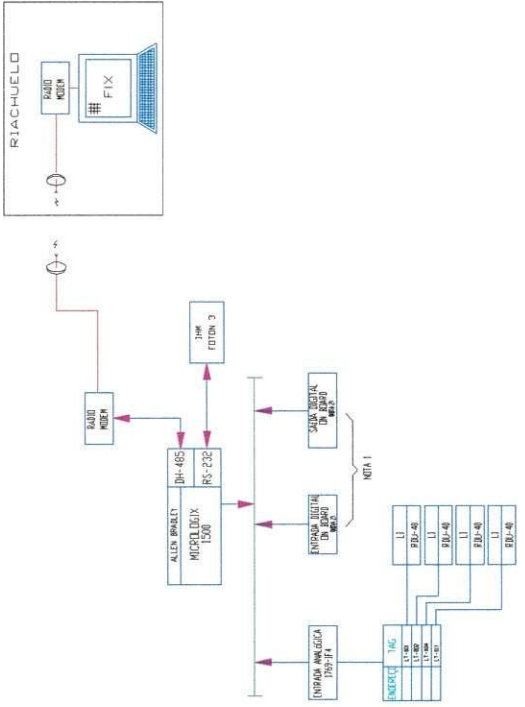
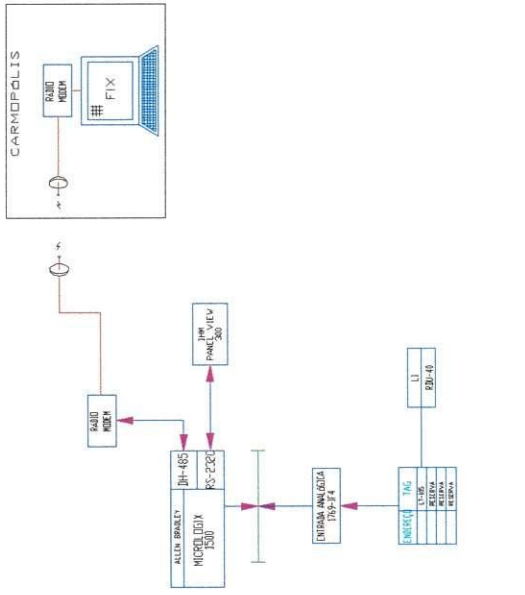
SATELLITE RD-955



SATELLITE RD-97



SATELITE BR6-35



SATELITE BR6-32