

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ALEXANDRE NOGUCHI

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA UM MANIFOLD  
SUBMARINO DE INJEÇÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2014

ALEXANDRE NOGUCHI

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA UM MANIFOLD  
SUBMARINO DE INJEÇÃO**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Prof. M.Sc. Simone Massulini Acosta

CURITIBA  
2014

## **AGRADECIMENTOS**

À Cindy Sasaki, por me apoiar neste e em demais momentos de minha vida acadêmica.

À professora Simone Acosta, pela orientação neste trabalho e dedicação como educadora.

Ao engenheiro Fernando Popia, pelas inúmeras vezes que me auxiliou profissionalmente e compartilhou conhecimento com seus colegas de trabalho.

## RESUMO

NOGUCHI, Alexandre. **Estudo de um sistema de controle para um *manifold* submarino de injeção**. 2014. 86 f. Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Este trabalho analisa o sistema de controle de um *manifold* submarino de injeção de água e gás típico do pré-sal brasileiro, com foco na parte eletrônica e na topologia da distribuição elétrica. Na sequência é apresentada a proposta de uma nova topologia para a distribuição elétrica baseada na mudança do Módulo Eletrônico Submarino para um novo conceito de sistema eletrônico denominado neste trabalho de Sistema Eletrônico Submarino, que é uma tendência futura para o mercado de óleo e gás em águas ultraprofundas. A comparação entre os dois sistemas é realizada, enumerando-se as vantagens e desvantagens de cada sistema.

**Palavras chave:** Sistemas de Controle. *Manifold*. Módulo Eletrônico Submarino. Sistemas de Produção Submarina.

## ABSTRACT

NOGUCHI, Alexandre. **A study of a control system for a subsea injection manifold**. 2014. 86 f. Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

This paper analyses the control system of a typical subsea water and gas injection manifold of Brazil's pre-salt, focusing on its electronic part and on the topology of the electrical distribution. It is then showed a proposal for a new topology for the electrical distribution based on the change of the subsea electronic module into a new concept of electronics here called the Subsea Electronic System, which is a future technological tendency for the ultra-deep waters oil & gas market. A comparison is presented, showing the advantages and disadvantages of both systems.

**Keywords:** Control Systems. Manifold. Subsea Electronic Module. Oil & Gas. Subsea Production Systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de um sistema de produção submarino .....	19
Figura 2 – Custos de CAPEX para o desenvolvimento de um sistema de produção submarina em águas ultraprofundas .....	21
Figura 3 – Aumento de pressão por injeção de água ou gás <i>onshore</i> .....	27
Figura 4 – Módulo de Controle Submarino.....	27
Figura 5 – Árvore de Natal Molhada.....	28
Figura 6 – Circuito básico de um atuador hidráulico para uma válvula submarina....	29
Figura 7 – <i>Manifold</i> submarino do pré-sal .....	30
Figura 8 – Vista em corte de um modelo de cabo umbilical eletro-hidráulico.....	31
Figura 9 – Conector elétrico ROV de sete.....	32
Figura 10 – <i>Jumper</i> elétrico ROV de doze vias com conectores do tipo pino .....	32
Figura 11 – Princípio de conexão de conectores elétricos submarinos.....	33
Figura 12 – Protocolos CAN e <i>CANopen</i> no modelo OSI .....	39
Figura 13 – Interconexões principais do sistema de injeção. ....	42
Figura 14 – Árvore de Natal Molhada do pré-sal.....	43
Figura 15 – Unidade de suprimento hidráulico para testes. ....	45
Figura 16 – Diagrama esquemático das linhas de fluido de injeção para o poço e injeção química do manifold.....	48
Figura 17 – Disposição geral dos módulos do <i>manifold</i> .....	48
Figura 18 – Ligações elétricas do Módulo de Controle de Vazão .....	50
Figura 19 – Módulo de distribuição elétrica recuperável .....	51
Figura 20 – Diagrama do sistema elétrico com unidade eletrônica centralizada.....	51
Figura 21 – Equalização de pressão do módulo de controle submarino .....	52
Figura 22 – Módulo Eletrônico Submarino.. .....	53
Figura 23 – Parte eletrônica do módulo de interface com o fundo de poço .....	54
Figura 24 – Exemplo de Módulo Eletrônico Submarino .....	55
Figura 25 – Representação dos <i>jumpers</i> elétricos .....	56
Figura 26 – Interface de Sensores de Fundo de Poço.....	58
Figura 27 – Esquemático do Módulo de Controle Submarino com Unidades Auxiliares instalado em uma Árvore de Natal Molhada .....	59
Figura 28 – Diagrama esquemático da Unidade de Potência .....	60
Figura 29 – Topologia da proposta do <i>manifold</i> .....	61
Figura 30 – Configuração de campo da proposta. ....	61
Figura 31 – Conexões entre todas as unidades de uma rede do <i>manifold</i> .....	65
Figura 32 – Conexões externas do Módulo de Controle Submarino na Árvore de Natal Molhada .....	66
Figura 33 – Diagrama do Sistema de Controle de Superfície. ....	84
Figura 34 – Diagrama do manifold proposto com o Sistema Eletrônico Submarino..	85
Figura 35 – Diagrama da Árvore de Nata Molhada para a topologia propo .....	86

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Camadas do modelo de referência OSI. ....	36
Quadro 2 – Descrição das vias elétricas do jumper que conecta a Unidade de Potência à Unidade Central de Processamento.....	64
Quadro 3 – Descrição das vias elétricas do jumper que conecta a Unidade de Potência à Central de Distribuição .....	64
Quadro 4 – Análise comparativa entre os dois sistemas.....	73
Quadro 5 – Comparação entre consequências de falhas dos dois sistemas .....	74

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANNL	Anular
ANM	Árvore de Natal Molhada
ANP	Agência Nacional de Petróleo
APETRO	Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas
API	<i>American Petroleum Institute</i>
bdp	barris de petróleo diário
CAPEX	Despesa de Capital ( <i>Capital Expenditure</i> )
CAN	Rede de Área do Controlador ( <i>Controller Area Network</i> )
CLP	Controlador Lógico Programável
CD	Central de Distribuição
DCV	Válvula de Controle Direcional ( <i>Directional Control Valve</i> )
EIA	Aliança das Indústrias de Eletrônica ( <i>Electronics Industries Alliance</i> )
FDP	Enlace de Dados <i>Fieldbus</i> ( <i>Fieldbus Data Link</i> )
FPSO	Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência ( <i>Floating Production, Storage and Offloading</i> )
FT	Transmissor de Vazão
HP	Alta Pressão ( <i>High Pressure</i> )
IEC	Comissão Internacional de Eletrotécnica ( <i>International Electrotechnical Commission</i> )
ISD	Dispositivos Inteligentes do Leito Marinho ( <i>Intelligent Seabed Devices</i> )
IQ	Injeção Química
IHM	Interface Homem Máquina
IWIS	Padronização de interface de Poços Inteligentes ( <i>Intelligent Well Interface Standardization</i> )
LP	Baixa Pressão ( <i>Low Pressure</i> )
MCS	Cabine de Controle Mestra ( <i>Master Control Station</i> )
MCV	Módulo de Controle de Vazão
MI	Módulo de Interligação
OLE	Vinculação e Incorporação de Objetos ( <i>Object Linking and Embedding</i> )
OPC	OLE para Controle de Processos ( <i>OLE for Process Control</i> )
OPEX	Despesa de Operação ( <i>Operation Expenditure</i> )
OSI	Sistema Aberto de Interconexão ( <i>Open System Interconnection</i> )
PROD	Produção
PROMINP	Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural
PT	Transmissor de Pressão
ROV	Veículo Remotamente Operado ( <i>Remotely Operated Vehicle</i> )
SCM	Módulo de Controle Submarino ( <i>Subsea Control Module</i> )
SES	Sistema Eletrônico Submarino
SEM	Módulo Eletrônico Submarino ( <i>Subsea Electronic Module</i> )
SIIS	Padronização de Interface de Instrumentação ( <i>Subsea Instrumentation Standardization</i> )
TT	Transmissor de Temperatura
UA	Unidade Auxiliar
UCP	Unidade Central de Processamento
UP	Unidade de Potência
UT	Unidade de Terminação
ZT	Transmissor de Posição



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.3	PROBLEMA	14
1.4	OBJETIVOS	15
1.4.1	Objetivo Geral	15
1.4.2	Objetivos Específicos	15
1.5	JUSTIFICATIVA	15
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
<b>2</b>	<b>SISTEMAS SUBMARINOS PARA PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS</b>	<b>18</b>
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO SUBMARINOS	18
2.2	SISTEMA DE CONTROLE	20
2.3	MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO ARTIFICIAIS	23
2.4	FORMAÇÃO DE HIDRÁTOS E A INJEÇÃO QUÍMICA	25
2.5	EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS SUBMARINOS	25
2.5.1	Cabine de Controle Mestra	26
2.5.2	Estação de Trabalho e Operação	26
2.5.3	Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência	26
2.5.4	Módulo de Controle Submarino	27
2.5.5	Módulo Eletrônico Submarino	27
2.5.6	Árvore de Natal Molhada	28
2.5.7	Manifold	29
2.5.8	Cabo Umbilical	30
2.5.9	Robô ROV	30
2.5.10	Jumpers Elétricos	31
<b>3</b>	<b>REDES DE COMUNICAÇÃO</b>	<b>34</b>
3.1	MODELO OSI	35
3.2	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO FIELDBUS	35
3.2.1	Profibus	37
3.2.2	CANopen	38
3.3	Projeto de Padronização de Interface de Instrumentação Submarina	40
<b>4</b>	<b>SISTEMA DE CONTROLE DE UM MANIFOLD SUBMARINO DE INJEÇÃO DO PRÉ-SAL</b>	<b>42</b>
4.1	SISTEMA DE INJEÇÃO SUBMARINO	42
4.1.1	Sistema de Superfície	43
4.1.1.1	Cabine de Controle Mestre	44
4.1.1.2	Unidade de Suprimento Hidráulico e Injeção Química	44
4.1.1.3	Unidade de Potência Elétrica	45
4.1.2	Sistema Submarino	46
4.1.2.1	Cabo Umbilical e Unidade de Terminação	46
4.1.2.2	Linhas de Fluxo e Unidades de Conexão	47
4.1.2.3	Manifold	47
4.1.2.4	Módulo de Controle de Vazão	49
4.1.2.5	Módulo de Interligação	49
4.1.2.6	Central de Distribuição	49
4.2	ARQUITETURA DO MÓDULO ELETRÔNICO SUBMARINO TRADICIONAL	52

4.3	TOPOLOGIA DO MANIFOLD DE INJEÇÃO COM A UNIDADE ELETRÔNICA TRADICIONAL.....	55
<b>5</b>	<b>MANIFOLD COM O SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO.....</b>	<b>57</b>
5.1	SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO .....	57
5.1.1	Unidade Central de Processamento .....	57
5.1.2	Unidade Auxiliar.....	58
5.1.3	Unidade de Potência .....	60
5.2	MANIFOLD DE INJEÇÃO TÍPICO DO PRÉ-SAL COM SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO.....	60
<b>6</b>	<b>COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS SISTEMAS .....</b>	<b>68</b>
6.1	ANÁLISE DA TOPOLOGIA DO MANIFOLD TÍPICO DE INJEÇÃO DO PRÉ-SAL .....	69
6.2	ANÁLISE DA TOPOLOGIA DO MANIFOLD PROPOSTO COM UM SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO .....	71
6.3	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS DOIS SISTEMAS.....	72
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE A – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DOS PRINCIPAIS SISTEMAS...83</b>	

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

Segundo a Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas (APETRO), “reserva de petróleo é o volume que se pode extrair, comercialmente, de uma jazida, pelos métodos de recuperação e produção conhecidos, sob condições econômicas e regulamentares vigentes na época da avaliação” (APETRO, 2014). Com isto, deduz-se que grandes reservatórios de óleo e gás não necessariamente contabilizam grandes reservas, pois os mesmos podem apresentar grandes dificuldades para sua exploração e não serem economicamente viáveis.

O Brasil é um exemplo de aumento repentino de reservas, pois há muitos anos se conhecia as grandes quantidades de petróleo em suas águas marítimas ultraprofundas (profundidades maiores que 1.500 metros), mas essas somente se tornaram parte da reserva quando o país adquiriu a tecnologia para explorá-las.

No final de 2010, a área de Lula (antiga Tupi) e Iracema da Bacia de Santos foi a primeira do pré-sal declarada como economicamente viável. Neste ano, as reservas brasileiras comprovadas aumentaram 10,7% em relação ao ano anterior, atingindo a marca de 14,2 bilhões de barris (ANP, 2000). Este foi o maior aumento desde 2002, quando as reservas aumentaram 15,4% e atingiram 8,5 bilhões de barris de petróleo (ANP, 2000). Dessas reservas provadas, 93,6% se encontravam no mar (ANP, 2011).

Baseado nesses dados e fatos comprova-se a importância do desenvolvimento da tecnologia no aumento das reservas de petróleo de uma nação, lembrando que uma condição para a incorporação de uma área à reserva é sua viabilidade econômica.

Muitas vezes, mesmo que seja tecnológica e operacionalmente possível extrair petróleo de uma jazida, a quantidade que pode ser extraída não é suficiente para gerar rentabilidade diante dos custos de preparação dos equipamentos e da manutenção do poço. Alguns exemplos ocorreram no início da década de 2010 com a operadora OGX, que encontrou diversos reservatórios com baixa ou nenhuma

surgência e que dependiam desde o início de métodos artificiais para a extração de óleo e, por essa razão, não eram economicamente viáveis.

O objeto de estudo deste trabalho é o sistema de controle de um *manifold* de injeção de água e gás. Este equipamento tem a função de aumentar a produção de óleo e gás através do aumento de pressão no poço.

A motivação deste trabalho é apresentar um sistema de controle mais robusto e confiável, com o qual se espera reduzir o tempo improdutivo de um campo por falha ou por manutenção, aumentando a lucratividade da operação.

É apresentada a topologia de um sistema de controle de um *manifold* de injeção típico do pré-sal com foco em seu Módulo Eletrônico Submarino, que é baseado em um único tipo de módulo, em um sistema descentralizado com vários desses módulos. Internamente, as placas deste módulo se comunicam através dos protocolos *EtherNet/IP* e *Profibus*. Estes módulos são responsáveis pelo acionamento, aquisição de dados dos sensores, alimentação elétrica e controle dos equipamentos do sistema, Árvores de Natal Molhadas e *manifolds*. Um único envelope físico (*cannister*) comporta toda a eletrônica que realiza todas essas funções.

Neste trabalho é proposto um sistema no qual as funções desse módulo eletrônico serão divididas em três tipos de módulos fisicamente separados, que se comunicam utilizando o protocolo *CANopen*. Com o uso dessa unidade eletrônica pretende-se reduzir o custo de material e manutenção da mesma. A divisão das funções da unidade atual nos três módulos da unidade proposta é:

1. Controle, leitura de sensores digitais e comunicação com a superfície;
2. Alimentação elétrica das três subunidades e tratamento inicial do sinal recebido da superfície;
3. Atuação de válvulas solenoides e leitura dos sensores analógicos.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho se limita a análise do sistema de controle de um sistema de injeção submarino específico, composto por:

- Um *manifold* de injeção de água e gás;
- Duas Árvores de Natal Molhadas conectadas a esse *manifold*;

- Um cabo umbilical eletro-hidráulico que conecta a superfície ao *manifold*;
- Dois cabos umbilicais eletro-hidráulicos que conectam as Árvores de Natal Molhadas ao *manifold*.

Os seguintes itens estão dentro do escopo de estudo:

- Módulo de Controle Submarino (unidade de controle hidráulico, atuação de válvulas e monitoração de sensores);
- Módulo Eletrônico Submarino;
- Distribuição elétrica do *manifold*;
- Arquitetura eletrônica do sistema de controle submarino.

Não fazem parte do escopo desse estudo:

- Equipamentos de superfície, como por exemplo, cabine de controle mestra, unidade de potência elétrica, controlador lógico programável (CLP) da cabine, *modem* da superfície etc.;
- Distribuição hidráulica;
- Estrutura física dos equipamentos.

Nessa análise uma introdução do sistema hidráulico é feita através de diagramas simples, sendo que dados de projeto como diâmetros das linhas, valores de pressão do sistema, detalhes sobre as válvulas e conexões não fazem parte desse estudo.

A parte eletrônica do sistema de controle é apresentada com foco na camada física e na estrutura das redes de comunicação. O *hardware* é apresentado de maneira conceitual, não se fazendo referência a equipamentos e produtos específicos e a seus fabricantes, mas sim as especificações e requisitos dos equipamentos. Nesse mesmo nível de profundidade e detalhamento com que é feita a análise e explicação do sistema de produção existente, é apresentada a arquitetura do sistema proposto nesse trabalho.

O objeto originador das modificações na arquitetura proposta é o Módulo Eletrônico Submarino, que foi física e funcionalmente dividido em três tipos de unidades diferentes no sistema proposto. Essa alteração possibilitou modificações físicas no sistema, como quantidade de cabos condutores elétricos dentro do cabo

umbilical e disposição e número de *flying leads*<sup>1</sup> elétricos no sistema. Sobre essas modificações são apresentadas e estudadas suas vantagens e desvantagens.

### 1.3 PROBLEMA

Perfurar, preparar e equipar um poço de petróleo em águas profundas é uma operação altamente demorada e onerosa. Entretanto, uma vez que um poço está produzindo, o tempo de *payback* pode ser de poucos anos até alguns meses, dependendo de quão produtivo é o poço (um poço do pré-sal geralmente produz de 5 a 40 mil bpd), o que é muito pouco visto que os poços geralmente produzem até 20 ou 30 anos. Desta forma, o custo de investimento inicial (denominado CAPEX) é muito baixo em relação ao lucro em longo prazo. Mesmo assim, por esse custo ser alto, muitas vezes é impeditivo para empresas menores investirem em um determinado campo.

Entretanto, paradas de produção, sejam elas previstas ou imprevistas, possuem custo indireto elevado, visto que o custo de operação (denominado OPEX) de um poço é muito alto para que uma sonda fique total ou parcialmente parada, causando enormes prejuízos à operadora durante este período. Por essa e outras razões, as empresas operadoras de campos petrolíferos investem muito em modularização, intercambiabilidade e redundância em seus equipamentos, visando diminuir o tempo com paradas imprevistas por falha de equipamento e manutenção.

A topologia apresentada nesse projeto utiliza uma unidade eletrônica fragmentada, o que possibilita redução no tempo de manutenção.

---

<sup>1</sup> Um *flying lead* ou *jumper* é um cabo multivias com um conector manuseável por robô submarino (ROV) em cada ponta para fazer a conexão elétrica entre dois pontos.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Apresentar uma nova topologia para um sistema de controle eletrônico para um *manifold* de injeção de água e gás em poços de petróleo através de uma arquitetura mais robusta e redundante com um novo conceito de módulo eletrônico submarino.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os principais conceitos e equipamentos de um sistema de produção e de um sistema de injeção submarinos, com foco na arquitetura de rede e na distribuição física da parte eletrônica;
- Analisar os protocolos *CANopen* e *Profibus*;
- Apresentar um sistema de injeção de água e gás típico de uma grande empresa operadora de campos de petróleo brasileira para o pré-sal, que utiliza um módulo eletrônico submarino unificado e modular, com foco no sistema de controle e na distribuição elétrica;
- Propor uma nova topologia para o sistema de injeção de água e gás utilizando uma unidade eletrônica física e funcionalmente fragmentada, com o protocolo *CANopen* para comunicação entre seus módulos;
- Apresentar as vantagens e desvantagens do sistema proposto.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

A empresa estatal de economia mista Petróleo Brasileiro S.A. está fazendo grandes investimentos para aumentar a produção diária de barris através de novos poços e recuperação de poços maduros. De acordo com seu plano de negócios, até 2018 os investimentos no pré-sal chegarão a 82 bilhões de dólares estadunidenses.

Espera-se também que, neste mesmo ano, 52% de sua produção seja obtida do pré-sal (PETROBRAS, 2014).

Outro fato importante é a política de Conteúdo Local, exigida pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP). O sítio eletrônico do Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural (PROMINP) descreve o conceito de Conteúdo Local:

O conceito de Conteúdo Local nada mais é do que a proporção dos investimentos nacionais aplicados em um determinado bem ou serviço, correspondendo à parcela de participação da indústria nacional na produção desse bem ou serviço. Assim, quando uma plataforma ou refinaria, por exemplo, possui um alto índice de conteúdo local, significa que os bens e serviços utilizados em sua construção são, em grande parte, de origem nacional, e não importados (PROMIMP, 2014).

A exigência mínima de Conteúdo Local nos contratos recentes do pré-sal tem aumentado muito em relação aos contratos mais antigos e, por se tratarem de investimentos que precisam mais tecnologia do que os de campos de águas rasas, as operadoras naturalmente buscam fornecedores estrangeiros, detentores de mais tecnologia do que os brasileiros. Infelizmente, sabe-se que essa exigência mínima muitas vezes não é atendida, resultando em multas contratuais para os fornecedores da operadora. Espera-se, também, a manufatura de módulos eletrônicos submarinos no Brasil num futuro não muito distante.

Estes fatos são motivos suficientes para a realização deste trabalho, que apresenta um estudo de tendências tecnológicas e analisa sua aplicação em tecnologias atuais. É importante para a nação desenvolver conhecimento nessa área para possibilitar o desenvolvimento da indústria de petróleo e gás natural nacional, podendo assim absorver uma maior fração dos investimentos feitos no pré-sal.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo é de caráter teórico, baseado em tecnologias e fatos do mercado de petróleo e gás atuais, sendo do tipo pesquisa científica explicativa, pois tem como objetivo estudar a viabilidade, possibilidades, vantagens e desvantagens de uma nova topologia de sistema de controle baseada em uma nova tendência tecnológica.



A pesquisa abrangerá as seguintes fases:

- a) Pesquisa baseada na revisão da literatura;
- b) Apresentação de uma proposta de um sistema;
- c) Apresentação dos resultados e conclusões finais.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho possui a seguinte estrutura:

**Capítulo 1 – Introdução:** são apresentados o tema, o problema, os objetivos, a justificativa e o embasamento teórico.

**Capítulo 2 – Sistemas Submarinos para Produção de Óleo e Gás:** são abordados o conceito, princípios básicos, equipamentos fundamentais à compreensão deste trabalho e uma introdução sobre sistema de controle para sistemas submarino.

**Capítulo 3 – Redes de Comunicação:** é apresentada uma revisão bibliográfica básica sobre redes de comunicação, apresentado o conceito, meio-físico e os modelos, tecnologias e protocolos utilizados neste trabalho, que são os protocolos *CANopen* e *Profibus*.

**Capítulo 4 – Sistema de Controle de um Manifold Submarino de Injeção do Pré-Sal:** é apresentado e analisado o sistema de controle de um *manifold* submarino de injeção teórico típico do pré-sal brasileiro.

**Capítulo 5 – Manifold com o Sistema Eletrônico Submarino:** é apresentado, de maneira conceitual e diagramática, o projeto do sistema apresentado no Capítulo 4 utilizando uma nova arquitetura eletrônica. Serão analisados as vantagens, desvantagens e impacto dessa alteração.

**Capítulo 6 – Comparação entre os dois sistemas:** é apresenta uma análise crítica e comparativa entre o sistema típico e o sistema proposto.

**Capítulo 7 – Conclusões Finais:** são apresentadas conclusões finais sobre o resultado do trabalho.

## 2 SISTEMAS SUBMARINOS PARA PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS

Este capítulo apresenta as noções básicas de equipamentos utilizados em sistemas submarinos para produção de óleo e gás com foco em sistemas de controle.

### 2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO SUBMARINOS

Bai e Bai (2010) apresentam a descrição de um Sistema de Produção Submarino.

Um Sistema de Produção Submarino consiste de um poço submarino com completação<sup>2</sup>, uma cabeça de poço no leito do mar, uma árvore de natal de produção submarina, interligações submarinas (*subsea tie-in*) ao sistema de linha de fluxo (*flowline system*), e equipamentos submarinos e instalações de controle para operar o poço. Pode variar da complexidade de um único poço satélite com uma linha de fluxo conectada a uma plataforma fixa, FPSO, ou instalações em terra, até vários poços em um *template* ou um arranjo com ligação a um *manifold* central que transporta a produção até uma plataforma flutuante, fixa ou diretamente até as instalações em terra (BA; BAI, 2010, p.6).

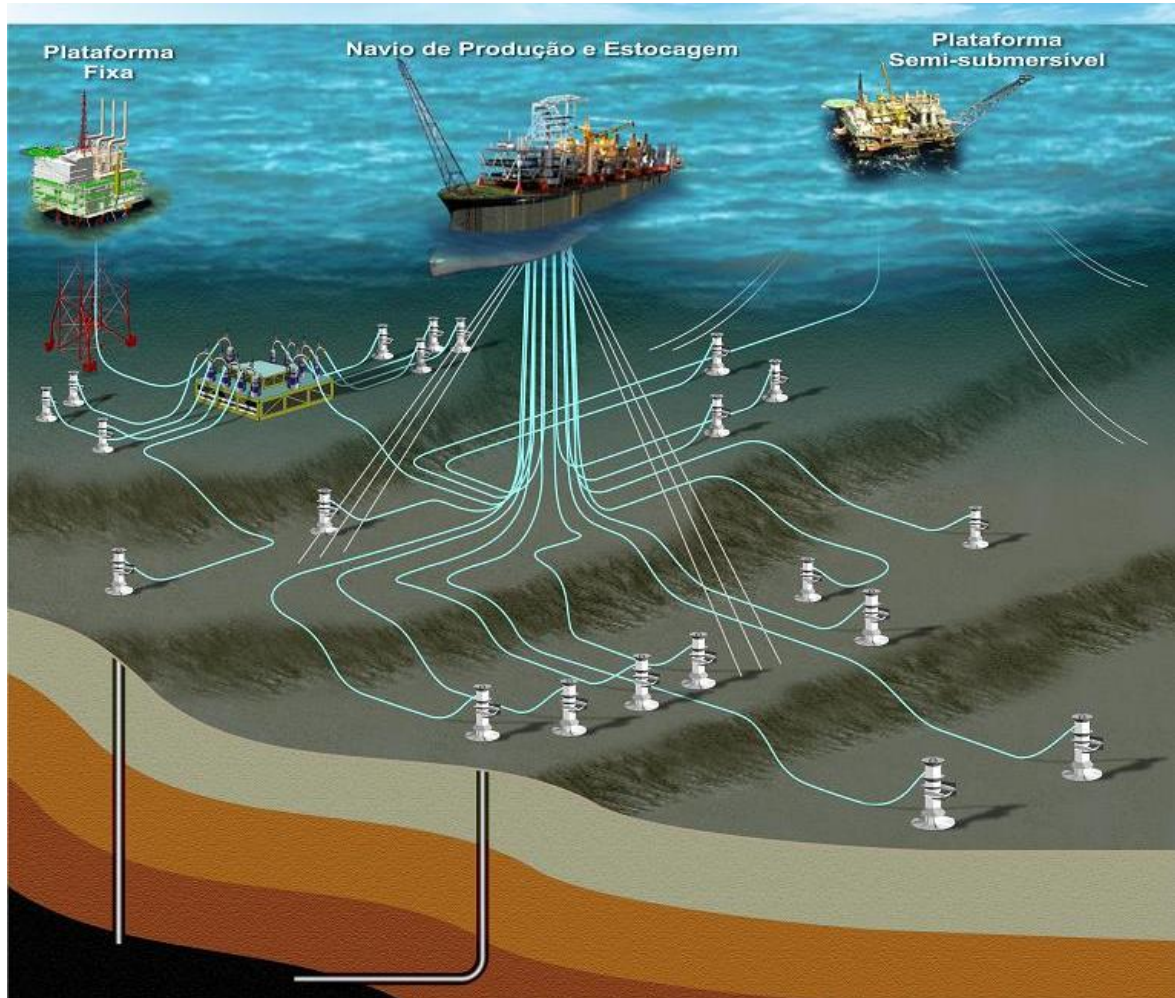
É importante ressaltar que um sistema de produção não possui apenas árvores de produção de petróleo e gás, mas também árvores de injeção de água, gás e outros fluidos, a fim de aumentar a pressão do reservatório e, conseqüentemente, aumentar a produção de outros poços do mesmo reservatório. A norma API 17A, do *American Petroleum Institute*, apresenta a definição de um sistema de produção submarino (API, 2006).

Um sistema de produção submarino é definido como um conjunto de instalações submersas destinadas à elevação, injeção e escoamento dos fluidos produzidos e/ou movimentados em um campo de petróleo ou gás natural (API, 2006).

A Figura 1 apresenta a representação de um sistema de produção submarino.

---

<sup>2</sup> Completação é o conjunto de operações destinadas a equipar o poço para produzir óleo, gás ou mesmo injetar fluidos nos reservatórios.



**Figura 1 – Representação de um sistema de produção submarino.**  
Fonte: Diário do Pré-Sal (2014).

Na Figura 1 tem-se uma plataforma petrolífera fixa, um navio de produção e estocagem (ou Unidade Flutuante de Armazenagem e Transferência) e uma plataforma semissubmersível. Plataformas são utilizadas na perfuração, completação e preparação dos poços e não possuem capacidade de estocagem de petróleo. No caso das fixas, que são instaladas geralmente em lâminas d'água<sup>3</sup> de até 200 metros, a plataforma pode escoar a produção até a terra via dutos. Na perfuração de poços do pré-sal, onde as lâminas d'água variam geralmente de 1.000 a 2.000 metros, torna-se necessária a utilização de plataformas semissubmersíveis ou navios sonda.

<sup>3</sup> Lâmina d'água: distância entre a superfície do mar e o fundo.

## 2.2 SISTEMA DE CONTROLE

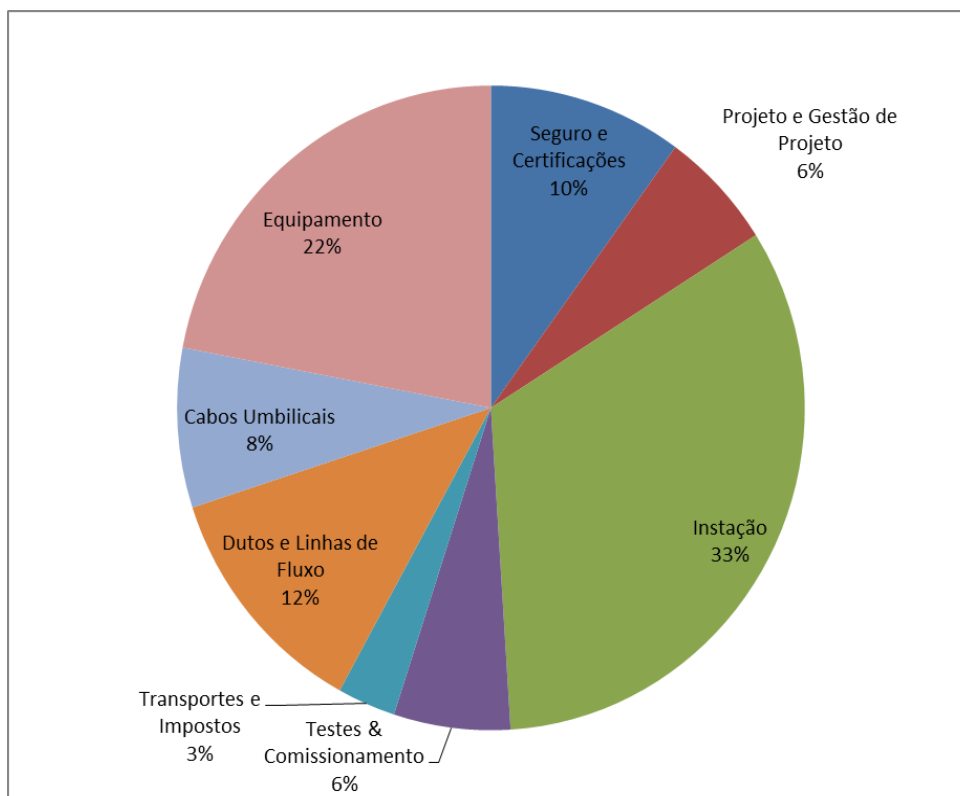
O sistema de controle de um sistema de produção submarino é responsável pela atuação das válvulas e monitoramento dos sensores de equipamentos submarinos como *manifold* e árvore de natal molhada. As válvulas atuadas servem basicamente para travar e destravar conectores e dar passagem ao fluido de produção e fluidos de injeção (injeção química, água e gás).

No projeto de um sistema de controle, a escolha da localização e distribuição dos seus dispositivos é crucial para a obtenção de um sistema eficiente, pois ela está diretamente ligada com os custos de operação e construção. Um bom projeto pode reduzir a quantidade de cabos, tubulações, conectores, manobras de instalação e operações de recuperação para manutenção.

De acordo com Bai e Bai (2010, p.162), os custos de investimento inicial (CAPEX) somente dos cabos umbilicais correspondem a aproximadamente 8% do custo do desenvolvimento de um sistema de produção. O custo do desenvolvimento completo desses campos está na ordem de centenas de milhões de dólares.

A Figura 2 mostra a alocação dos gastos para o desenvolvimento de um sistema de produção submarina em águas ultraprofundas.

Estes dados são importantes, pois o foco deste trabalho é o estudo de arquiteturas de sistemas de controle, ou seja, modelos de distribuição e interconexão de equipamentos. Ao concentrar os equipamentos de controle e leitura de sensores na superfície são reduzidos os gastos com instalação e com a aquisição desses equipamentos, pois os mesmos se tornam mais simples. Entretanto, aumentam grandemente os gastos com o cabo umbilical, pois são necessárias mais vias para realizar a conexão. Tem-se, também, um gasto maior com a operação, pois o tempo de atuação é muito maior quando as válvulas são operadas diretamente da superfície.



**Figura 2 – Custos de CAPEX para o desenvolvimento de um sistema de produção submarina em águas ultraprofundas.**

**Fonte: Adaptado de Bai e Bai (2010).**

De acordo com Bai e Bai (2010), os tipos básicos de sistemas de controle de um sistema de produção submarino são:

- **Hidráulico Direto:** o mais simples e antigo dos sistemas de controle submarino, no qual cada atuador necessita de uma linha de função hidráulica vindo da superfície para atuá-la. É possível que dois ou mais atuadores compartilhem uma mesma linha, entretanto eles serão simultaneamente atuados. Este tipo de sistema é eficiente para águas rasas e torna-se ineficiente para campos complexos e profundos, pois o tempo de atuação de uma válvula pode demorar horas. Ele tem como vantagens principais o baixo custo de implementação e, devido ao fato dos componentes críticos se encontrarem na superfície, possui alta confiabilidade e facilidade de manutenção. Este é o sistema mais empregado no Brasil atualmente e comumente é utilizado com monitoramento direto, ou seja, um par trançado de condutores para cada sensor do sistema. Esse sistema necessita de cabos umbilicais com mais vias, o que impacta diretamente no custo de CAPEX de um projeto.

- Hidráulico Pilotado: assim como o sistema hidráulico direto, este possui uma linha dedicada para cada atuador, ou conjunto de atuadores com atuação simultânea, mas possui um módulo de controle submarino simples que contém válvulas piloto e acumuladores de pressão conectados aos circuitos hidráulicos para uma pressurização mais rápida, visto que a pressão hidráulica armazenada já está no leito marinho. Possui as mesmas vantagens do controle hidráulico direto, mas em um nível mais brando sendo um sistema de atuação considerada lenta.
- Hidráulico Sequencial: este sistema possui uma sequência fixa de abertura de válvulas, atuadas por uma única linha de pressão regulada. A primeira válvula, ou conjunto de válvulas, abrirá quando a pressão chegar a um valor pré-determinado e as demais válvulas abrirão em valores superiores também pré-determinados. Tal técnica possibilita um tempo de resposta menor do que os dos sistemas anteriores, assim como um cabo umbilical com menos mangueiras. Sua principal desvantagem é a sequência fixa de abertura de válvulas.
- Eletro-Hidráulico multiplexado: este é o tipo de sistema de controle empregado atualmente em campos do pré-sal no Brasil, devido à grande profundidade das águas. Ele possui um módulo de controle submarino eletro-hidráulico mais complexo do que o do sistema hidráulico pilotado, pois o mesmo faz monitoramento do sistema de monitoração elétrica e faz atuação hidráulica das válvulas, sendo o controle dessa atuação feito por sinais elétricos multiplexados através de um único condutor elétrico (não considerando redundância ou canais extras). No cabo umbilical existe um número mínimo de linhas elétricas e mangueiras hidráulicas, suficiente para transportar pressão hidráulica (normalmente linhas de alta e baixa pressão) e sinal e potência elétricos. O módulo de controle submarino armazena a pressão hidráulica em seus acumuladores e com ela atua as válvulas dos equipamentos submarinos em pouco tempo. Desta forma, uma das principais vantagens desse sistema é o curto tempo de atuação das válvulas. Entretanto, este sistema é mais caro e somente se torna economicamente vantajoso quando com cabos umbilicais muito extensos. Outro problema é que os equipamentos críticos se encontram no fundo do mar, tornando reparos e manutenção mais difíceis.

- Elétrico: este tipo de controle é o mais sofisticado dentre os apresentados pois, além do controle elétrico, utiliza válvulas elétricas. Somente sinal e potência elétrica são fornecidos ao sistema submarino. O custo do cabo umbilical e o tempo de atuação das válvulas é o menor de todos. Esse sistema ainda é pouco utilizado devido ao seu pequeno histórico de uso e às poucas alternativas de contornar um problema caso haja falha nos equipamentos. Por exemplo, caso o módulo de controle submarino eletro-hidráulico do sistema multiplexado venha a falhar, ainda é possível retirar o módulo e controlar o equipamento submarino através do controle hidráulico direto, o que não acontece com o elétrico.

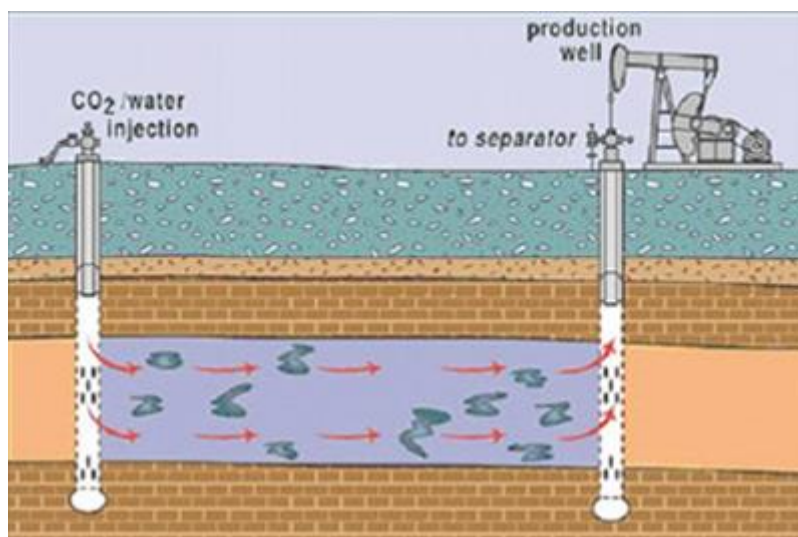
### 2.3 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO ARTIFICIAIS

Os métodos de recuperação artificiais possibilitam a recuperação de um volume total maior de petróleo de um reservatório antes do seu abandono. Eles são geralmente empregados em reservatórios maduros, os quais tiveram um decréscimo significativo de pressão ao longo dos anos e deseja-se aumentá-lo novamente a fim de tornar a operação mais rentável.

Na recuperação primária, ou seja, quando a surgência do poço provém somente de mecanismos naturais (pressão original do reservatório, deslocamento de água, expansão de gás etc.), a taxa de recuperação média de petróleo é de 5 a 15% do volume original. Com métodos secundários como, por exemplo, injeção de água, *gas lifting* (injeção de ar, dióxido de carbono ou algum outro gás a fim de diminuir a densidade do óleo) ou reinjeção de gás natural, é possível recuperar, em média, de 35 a 45% do volume inicial. Com métodos terciários, que são mais caros e sofisticados e onde está incluso a injeção de água e gás de forma alternada, é possível recuperar mais 10 a 15% do volume inicial (TZIMAS, 2005).

Um sistema de injeção alternada de água e gás é utilizado para aumentar a pressão em um reservatório, obtendo assim uma maior vazão nos poços de produção. A ideia básica dessa técnica é, em um campo que já possua poços de produção, adicionar poços de injeção que inundem o reservatório com água ou gás, alternadamente, aumentando sua pressão e expulsando uma quantidade maior de petróleo por outro poço de produção.

Enquanto a água injetada tende a se acumular no fundo do reservatório, o gás, por sua vez, se acumula na parte superior. A injeção dos dois fluidos possibilita resultados mais eficazes (MAZEN, 2008). A Figura 3 apresenta esta técnica sendo aplicada em uma operação *onshore*.



**Figura 3 – Aumento de pressão por injeção de água ou gás *onshore*.**  
Fonte: SEED (2014).

Vários autores sugeriram classificações para os diferentes métodos de injeção alternada de água e gás, a saber: injeção alternada de água e gás miscível, injeção alternada de água e gás imiscível, injeção simultânea de água e gás e injeção alternada seletiva simultânea de água e gás (MORAIS, 2012).

No processo miscível o gás injetado é miscível ao contato com o óleo. Isso proporciona uma redução da viscosidade do óleo, provendo maior mobilidade do óleo aprisionado no reservatório. No processo imiscível, o gás não se mistura com o óleo do reservatório e, conseqüentemente, provoca deslocamento do óleo mantendo-os em fases separadas. No método de injeção simultânea, água e gás são injetados pela mesma árvore de natal simultaneamente, sendo que a mistura dos dois já ocorre na superfície. No processo de injeção seletiva simultânea, água e gás ainda são injetados por uma única árvore, entretanto não há mistura de fases entre água e gás.

O *manifold* objeto deste trabalho pode trabalhar com qualquer um dos métodos supracitados, visto que ele possui duas linhas de fluxo conectadas à superfície e pode uni-las. Alguns métodos dependem das características dos equipamentos de superfície.



## 2.4 FORMAÇÃO DE HIDRATOS E A INJEÇÃO QUÍMICA

De acordo com da Nobrega (2001) “hidratos são compostos cristalinos formados pela combinação física entre moléculas de água e certas moléculas de hidrocarbonetos presentes no gás natural...”. Eles são um sério problema em sistemas submarinos de produção de gás natural, pois formações de dezenas a centenas de metros de hidratos podem se acumular nas tubulações, entupindo a linha e causando parada de produção ou até destruição de equipamentos importantes (CONVINGTON, COLLIE, 2006).

Para a formação de hidratos é necessário a existência de hidrocarbonetos como metano, etano e gás sulfídrico e água (NÓBREGA, 2001). A água está presente em forma de vapor no gás natural e em pequenas quantidades misturadas ao petróleo recém-extraído. Além desses dois componentes, para a formação de hidratos é necessário alta pressão e baixa temperatura (CONVINGTON, COLLIE, 2006). Linhas de produção em contato com poços de petróleo normalmente estão sob alta pressão e em sistemas submarinos de águas ultraprofundas, é comum as linhas de produção estarem em temperaturas de 0 a 4 °C.

A injeção química em sistemas de produção de óleo e gás consiste em substâncias injetadas nas linhas de produção ou injeção para inibir a formação de hidratos ou para dissolver formações já existentes. Essas substâncias são geralmente solventes como álcoois e glicóis (PETROWIKI, 2014).

Por esta razão, somente as linhas de gás dos *manifolds* estudados nos capítulos seguintes possuem linhas de injeção química nas linhas de fluidos de injeção. Não se deve confundir os fluidos de injeção do poço, que possuem o intuito de aumentar a pressão do mesmo, com os fluidos de injeção química, que combatem e inibem a formação de hidratos.

## 2.5 EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS SUBMARINOS

A seguir é apresentada uma breve descrição dos principais equipamentos utilizados nos sistemas de produção e injeção submarina.

### 2.5.1 Cabine de Controle Mestra

A Cabine de Controle Mestra (*Master Control Station, MCS*) é um equipamento de superfície que abriga um conjunto de equipamentos eletrônicos como *modems*, computadores, monitores, teclado, *mouse*, roteadores e CLP. No computador e no CLP são executados o sistema de controle supervisão, que faz a interface com todos os demais dispositivos do sistema, direta ou indiretamente.

Através da cabine de controle é possível monitorar os sensores do sistema e acionar as válvulas, embora normalmente isso seja feito por outros computadores conectados à rede da Cabine de Controle Mestra.

A Cabine de Controle Mestra também é responsável por rotinas de segurança, como o desligamento de emergência do sistema, sendo necessária em sistemas elétricos e multiplexados.

### 2.5.2 Estação de Trabalho e Operação

A Estação de Trabalho e Operação é um computador que também fica na superfície, sendo conectado à rede principal e a Cabine de Controle Mestra para que os técnicos da plataforma possam realizar o monitoramento constante do sistema.

### 2.5.3 Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência

A Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência (*Floating, Production, Storage and Off-loading, FPSO*), é o navio que abriga os equipamentos do sistema de produção e armazena a produção, para que outra embarcação venha em intervalos regulares transportar o óleo e o gás armazenados e transportá-los ao continente. Em alguns casos, esse transporte também pode ser feito por dutos submarinos. O navio de produção e estocagem apresentado na Figura 1 é um exemplo de FPSO.

#### 2.5.4 Módulo de Controle Submarino

Um Módulo de Controle Submarino (*Subsea Control Module, SCM*), Figura 4, é um equipamento submarino hermeticamente fechado em um único envelope com pressão compensada que é instalado em diversos equipamentos submarinos eletro-hidráulicos para controlá-los e monitorá-los. Dentre suas principais funções tem-se: atuação dos atuadores e monitoramento dos sensores de campo.



**Figura 4 – Módulo de Controle Submarino.**  
**Fonte: Control Systems Brochure (2014).**

Os Módulos de Controle Submarinos são utilizados principalmente para diminuir o tempo de abertura das válvulas dos equipamentos submarinos pois, com esse módulo, parte do equipamento de controle que ficaria na superfície (no caso de sistemas que não utilizam Módulos de Controle Submarinos) fica no fundo do mar. Por exemplo, em um sistema de controle multiplexado pode-se armazenar pressão hidráulica dentro de Módulos de Controle Submarinos no ambiente submarino para que os mesmos atuem as válvulas do sistema submarino diretamente com esta, através de sinais elétricos vindo da Cabine de Controle Mestre na superfície.

#### 2.5.5 Módulo Eletrônico Submarino

Este módulo é um envelope hermeticamente fechado, normalmente selado com pressão próxima à atmosférica, que comporta a eletrônica de controle submarina.

### 2.5.6 Árvore de Natal Molhada

A Árvore de Natal Molhada (ANM), Figura 5, é um equipamento utilizado no fundo do mar, sendo composto por válvulas conectadas ao poço e à unidade de produção na superfície. Estas válvulas controlam o fluxo de produção de petróleo e gás do poço para a superfície, assim como a injeção de líquido e gás da superfície para o poço.



**Figura 5 – Árvore de Natal Molhada.**  
**Fonte: Petronoticias (2014).**

Podem utilizar atuadores elétricos, eletro-hidráulicos ou hidráulicos. As Árvores de Natal Molhadas deste trabalho utilizam atuadores hidráulicos.

A Figura 6 mostra o funcionamento de uma válvula do tipo sede-gaveta, muito utilizada em linhas com passagem de fluidos de produção (petróleo e gás natural) ou fluidos de produção, inclusive nas árvores deste trabalho, que tem essas linhas com 5 e 2 polegadas. As válvulas sede-gaveta possuem uma parte móvel com um orifício que permite a passagem do fluido, chamada de gaveta, que fica fechada quando o pistão não está sob pressão e, quando o pistão é pressionado, o mesmo move a gaveta para que a válvula se abra.

No caso de sistemas eletro-hidráulicos multiplexados, como é o caso dos sistemas abordados neste trabalho, essa pressão hidráulica que move o pistão provém do Módulo de Controle Submarino.

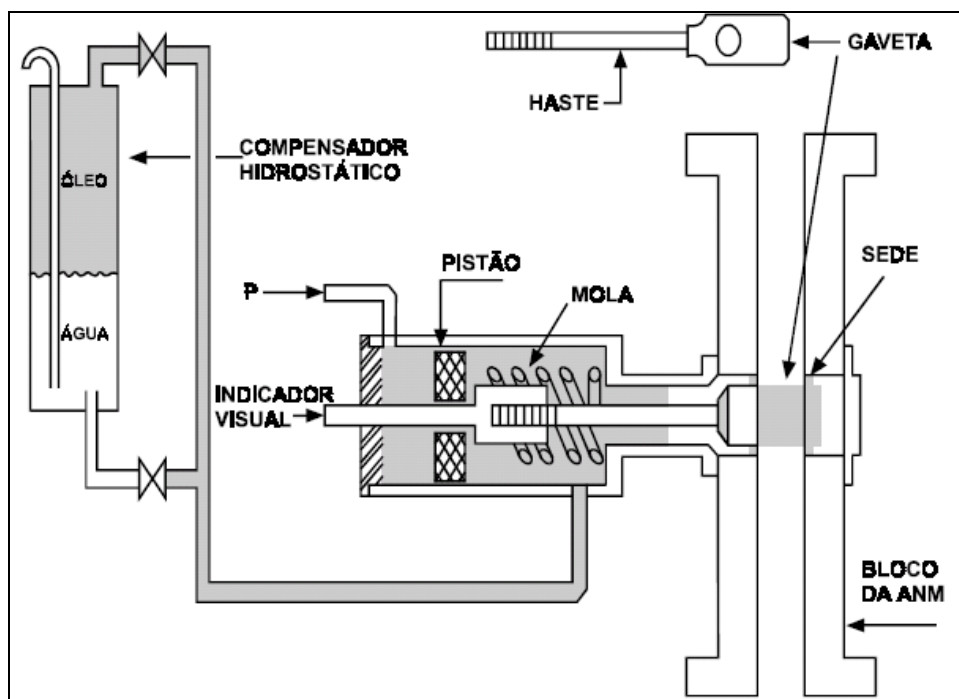


Figura 6 – Circuito básico de um atuador hidráulico para uma válvula submarina.  
Fonte: Garcia (1997).

### 2.5.7 Manifold

O sítio eletrônico TecPetro (2014) descreve um *manifold*.

Outro tipo de equipamento importante que pode estar presente no layout submarino são os *manifolds*, equipamentos que conjugam a produção de dois ou mais poços. De forma geral, são conjuntos de válvulas e acessórios que permitem a manobra e junção das correntes produzidas pelos poços, formando uma única corrente em direção à Unidade de Produção. Os *manifolds* podem também ser utilizados para permitir que um grupo de poços compartilhem sistemas de injeção de água e *gas-lift*. De forma mais objetiva e simplificada, eles servem para o direcionamento da produção de vários poços às unidades de produção e também para distribuir fluidos destas para serem injetados nos poços. Como agrupam os fluidos produzidos por poços, os *manifolds* ajudam a reduzir o número de linhas conectadas à plataforma, além de reduzir o comprimento total das linhas de interligação de poços usados num sistema de produção (TECPETRO, 2014).

A Figura 7 mostra uma imagem de um *manifold* sendo instalado em águas brasileiras (TECPETRO, 2014).



**Figura 7 – *Manifold* submarino do pré-sal.**  
Fonte: Tecpetro (2014).

### 2.5.8 Cabo Umbilical

O cabo umbilical é um cabo com vias elétricas e hidráulicas utilizado para conectar diferentes partes em ambientes submarinos. Ele não possui conectores próprios, por isso utiliza unidades de terminação de umbilicais para fazer as conexões. Esse cabo usualmente é utilizado para conectar equipamentos como *Árvore de Natal Molhada* ou *manifold* à superfície, mas também pode ser utilizado para conectar dois equipamentos submarinos, como uma *Árvore de Natal Molhada* e um *manifold*. A Figura 8 mostra a representação em corte de um cabo umbilical com diversas vias elétricas e hidráulicas.

### 2.5.9 Robô ROV

O robô ROV (*Remotely Operated Vehicle*) é um robô submarino remotamente operado por humanos, utilizado para instalações e intervenções de equipamentos submarinos.



**Figura 8 – Vista em corte de um modelo de cabo umbilical eletro-hidráulico.**

**Fonte: Umbilicals Brochure (2014).**

#### 2.5.10 *Jumpers* Elétricos

Os *jumpers* elétricos<sup>4</sup>, também conhecidos como *Electrical Flying Leads* (EFL), são compostos por um ou mais cabos elétricos dentro de uma mangueira preenchida com óleo (geralmente óleo de silicone) hermeticamente selada e com conectores multivias nas duas extremidades, para ambiente submarino. As extremidades podem ter alças para que possam ser operadas por robôs ROV no ambiente submarino. No caso de *jumpers* para águas rasas, essas alças não são necessárias pois as conexões elétricas submarinas via jumper elétrico podem ser feitas por mergulhadores.

Esses *jumpers* elétricos são utilizados para fazer conexões submarinas entre módulos e equipamentos que são instalados separadamente ou que possam ser trocados. A Figura 9 mostra o conector elétrico ROV de sete vias com contatos fêmeas (*sockets*) de um jumper elétrico da série Digitron da marca Siemens® muito

---

<sup>4</sup> Existem também os *jumpers* hidráulicos, que são compostos por várias mangueiras hidráulicas e conectores hidráulicos para conectar todas as vias e fazem conexões e desconexões submarinas.

utilizado no pré-sal brasileiro. A Figura 10 mostra um *jumper* elétrico ROV completo de doze vias com conectores do tipo pino.



Figura 9 – Conector elétrico ROV de sete vias.  
Fonte: Digitron (2013).

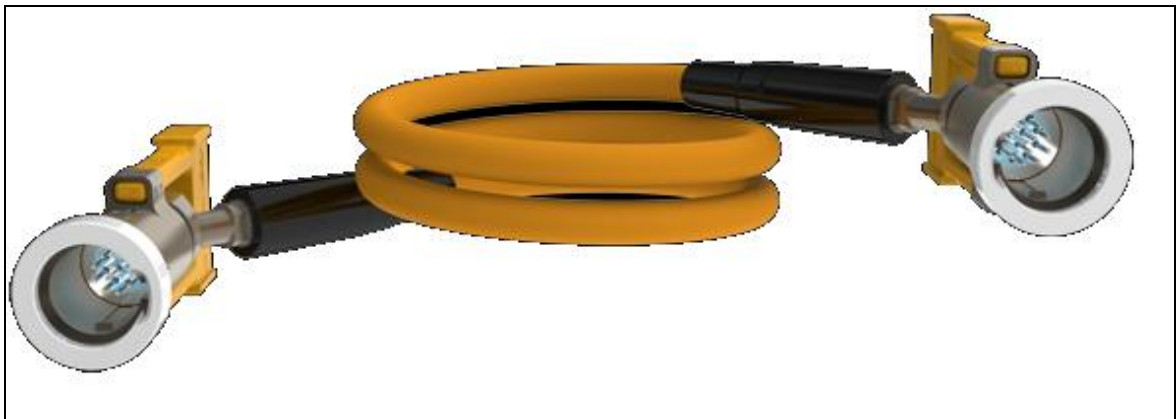
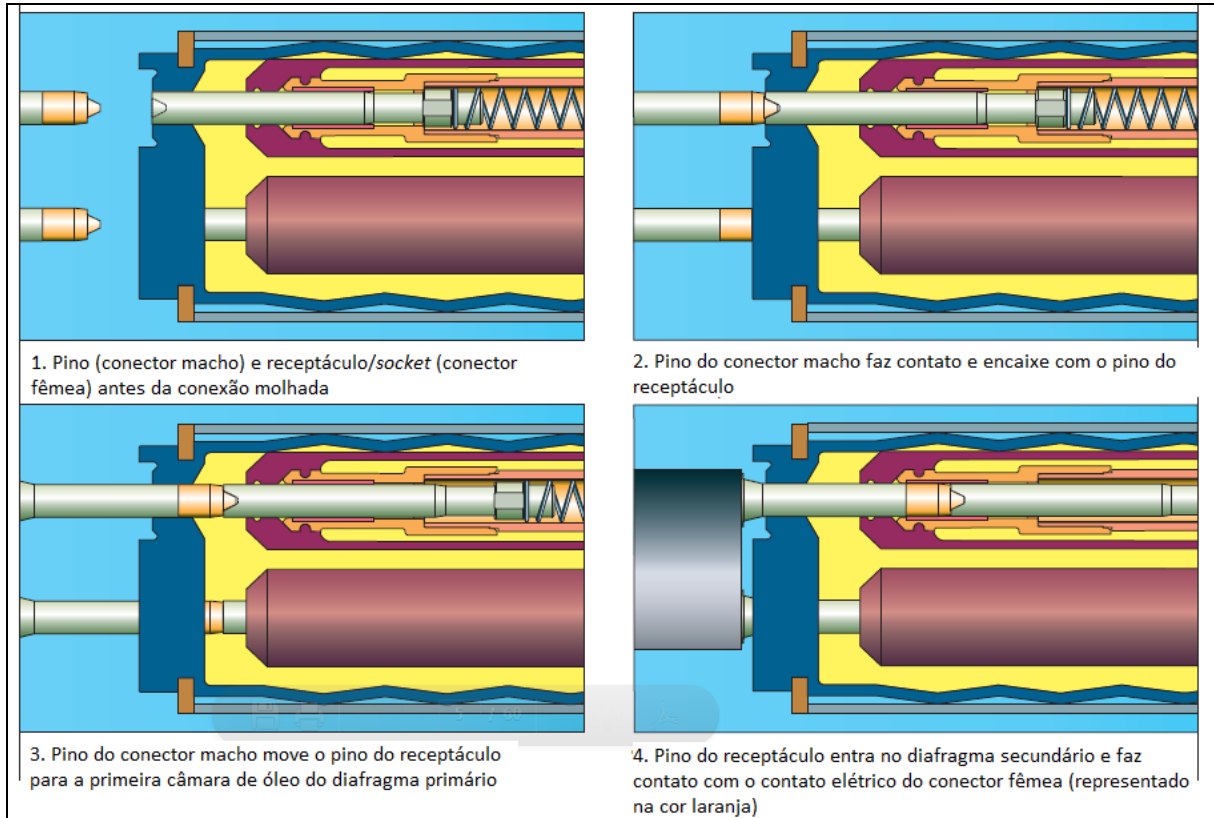


Figura 10 – *Jumper* elétrico ROV de doze vias com conectores do tipo pino.  
Fonte: Teledyne (2014).

A Figura 11 apresenta o princípio do mecanismo de conexão dos conectores elétricos submarinos, que permitem realizar uma conexão elétrica submarina mesmo quando o conector fêmea (contatos elétricos do tipo *socket* ou receptáculo) está energizado.





**Figura 11 – Princípio de conexão de conectores elétricos submarinos.**  
 Fonte: Adaptado de Digitron (2013).

### 3 REDES DE COMUNICAÇÃO

Este capítulo apresenta uma revisão sobre os protocolos de comunicação utilizados neste trabalho, que são o *CANopen* e o *Profibus*.

Segundo Sousa (1999), rede de computadores é um conjunto de equipamentos interligados de maneira a trocarem informações e compartilhem recursos, como arquivos de dados gravados, impressoras, *modems*, *softwares* e outros equipamentos.

Em sistemas submarinos de produção de óleo e gás, tem-se a Cabine de Controle Mestre e seus dispositivos internos, como *hubs*, *modems*, computadores e periféricos de interface, e os dispositivos submarinos, como o Módulo de Controle Submarino e a unidade eletrônica de controle submarino.

Os elementos básicos da comunicação de um sistema de produção submarino típico são:

- Mensagem: consta basicamente, além dos bits do pacote do protocolo, de valores de pressão, temperatura, vazão e posição de válvulas.
- Transmissor e receptor: consistem dos dispositivos que recebem e enviam mensagens. Tem-se a Cabine de Controle Mestre na superfície e os dispositivos do controlador submarino e do Módulo de Controle Submarino.
- Meio de comunicação: é o caminho físico pelo qual a mensagem é transmitida, neste caso os pares trançados de cobre do cabo umbilical e dos *jumpers* elétricos de conexão entre módulos do *manifold*.
- Protocolo: entre diferentes dispositivos da rede existem diferentes convenções e regras para a realização da troca de mensagens, chamados de protocolos.

De acordo com Augusto (2014),

A topologia pode ser entendida como a maneira pela qual os enlaces de comunicação e dispositivos de comutação estão interligados, provendo efetivamente a transmissão do sinal entre nós da rede [...].

Podemos dizer que a topologia física de uma rede local compreende os enlaces físicos de ligação dos elementos computacionais da rede, enquanto a topologia lógica da rede se refere à forma através da qual o sinal é efetivamente transmitido entre um computador e outro (AUGUSTO, 2014).

De acordo com Torres (2004), os modos de transmissão de dados podem ser classificados em três tipos:

- *Simplex*: nesse tipo de transmissão de dados um dispositivo é o transmissor e o outro é o receptor. A transmissão de dados *simplex* é, portanto, unidirecional.
- *Half-duplex*: esse tipo de transmissão de dados é bidirecional mas, por compartilharem o mesmo canal de comunicação, os dispositivos não transmitem e recebem dados ao mesmo tempo.
- *Full-duplex*: é a verdadeira comunicação bidirecional em que os dispositivos podem transmitir e receber dados ao mesmo tempo.

### 3.1 MODELO OSI

O modelo OSI (*Open System Interconnection*) foi criado nos anos 1970 pela organização ISO (*International Standards Organization*) a fim de padronizar e normatizar os protocolos de comunicação na indústria, através da fragmentação da comunicação em sete camadas lógicas de hardware e/ou software. O Quadro 1 apresenta uma breve descrição de cada uma das camadas do modelo OSI.

### 3.2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO FIELDBUS

*Fieldbus* é uma família de protocolos industriais digitais, regulada pela norma IEC 61158 (FELSER, 2014). Esta norma IEC 61158-2 de 2003 apresenta a definição de *Fieldbus*:

*Fieldbus* é um *link* de comunicação digital, de dois sentidos e do tipo *multi-drop*<sup>5</sup> para dispositivos inteligentes de medição e controle. Ele serve como uma Rede de Área Local para controle de processo avançado, entradas e saídas remotas e aplicações industriais de alta velocidade (IEC, 2003).

---

<sup>5</sup> *Multi-drop*: um barramento onde todos os dispositivos estão eletricamente conectados à rede.

Unidade de Dados	Camada	Função
Dados	7: Aplicação	É a camada mais próxima do usuário final pois interage diretamente com os <i>softwares</i> de interface com o usuário e com as demais camadas.
	6: Apresentação	Responsável pela encriptação e compactação dos dados e por assegurar a compatibilidade entre diferentes camadas de aplicação de diferentes sistemas.
	5: Sessão	Controla e gerencia as sessões entre as aplicações.
Segmentos	4: Transporte	Responsável pelo controle do fluxo de informação e sua segmentação.
Pacotes	3: Rede	Responsável pelo endereçamento lógico da rede e por encaminhar os pacotes de diferentes tamanhos (datagramas) aos pontos da rede.
Quadro ( <i>frame</i> )	2: Enlace de dados	Controla o acesso ao meio físico de transmissão e define o controle de erros, garantindo assim um canal de comunicação confiável. Esta camada é responsável pelas sub camadas MAC ( <i>Media Access Control</i> ), que controla os dispositivos que têm acesso às redes e seus dados, e a camada LLC ( <i>Logical Link Control</i> ) que sincroniza os pacotes e faz a verificação de erros.
Bit	1: Física	Define as características físicas e elétricas do meio físico pelo qual os dados são transportados (conectores, modulação do sinal, codificação etc.).

**Quadro 1 – Camadas do modelo de referência OSI.**

**Fonte:** Adaptado de ITU (1994).

Em relação aos sistemas de controle direto tradicionais, que possuem um processamento centralizado em uma estação central e a comunicação ponto a ponto convencional com os dispositivos (ao menos um par trançado por dispositivo), podem-se listar as seguintes vantagens dos sistemas *Fieldbus* (NATIONAL, 2014; VTC, 2014; BORDER, KOLLA, MAYER, 2003):

- Sistemas abertos;
- Padronização e interoperabilidade, tornando-se mais fácil adicionar um novo dispositivo à rede, mesmo de diferentes fabricantes;
- Redução da quantidade de fios;
- Robustez a ruídos externos;
- Diversidade e flexibilidade para topologias de rede;
- Facilidade na instalação, configuração, expansão e manutenção;
- Modularidade e facilidade de expansão;
- Redução de custo de material em torno de 20 a 40% devido à cabos, conectores e equipamentos;
- Determinismo.

### 3.2.1 Profibus

O *Profibus* (*Fieldbus* para Processo) é um protocolo de rede de campo aberto e independente de fornecedores, cuja interface permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação industrial. Esse protocolo é garantido pelas normas EN 50170 e EN 50254 (PROFIBUS, 2012).

Existem três variações de *Profibus*: *Profibus-DP*, *Profibus-PA* e *Profibus-FMS*, sendo a primeira a mais utilizada.

O *Profibus-DP*, em que DP significa Periferia Descentralizada (*Decentralized Periphery*), é otimizado para alta velocidade e conexão de baixo custo e foi projetado especialmente para a comunicação entre sistemas de controle de automação e suas respectivas estradas e saídas distribuídas em nível de dispositivo (PROFIBUS, 2012). Os dispositivos da rede, como por exemplo sensores e atuadores, são operados por um controlador central. Podem ser selecionadas taxas de transmissão entre 9,6 kbit/s e 12 Mbit/s (MORAES, 2005).

O *Profibus-PA*, em que PA significa Automação de Processo (*Process Automation*), é utilizado para monitorar equipamentos de medição via um sistema de controle de processo. Essa variação foi feita para uso em áreas de risco, como por exemplo risco de explosão. Sua camada física está de acordo com a norma IEC 61158-2 que permite o fornecimento de potência elétrica aos instrumentos de campo e ao mesmo tempo limitando a corrente a fim de evitar condições de risco de explosão, mesmo com uma falha do equipamento. A taxa de transmissão é fixa em 31,2 kbps (MORAES, 2005) entretanto, o protocolo é o mesmo do DP e o PA pode ser conectado a uma rede DP se utilizado um adaptador (CASSIOLATO, 2010). As taxas de transmissão mais altas do DP fazem com que muitos optem por aplicações híbridas, ou seja, DP e PA operando juntamente.

O *Profibus-FMS*, em que FMS significa *Fieldbus Message Specification*, é uma evolução do *Profibus-DP* e destina-se a comunicação ao nível de células, em que se encontram os CLPs. Esta é uma variação mais robusta em relação a capacidade de suportar altas transmissões de dados (PROFIBUS, 2012).

Todas as variantes do *Profibus* são baseadas no modelo de referência OSI. Devido aos requisitos de campo, do modelo OSI somente as camadas 1 e 2, e ainda a camada 7 no FMS, são implementados no *Profibus* por razões de eficiência. Nas

três variantes do *Profibus* as duas camadas inferiores são muito parecidas, sendo que a grande diferença está na interface com os programas de aplicação. A camada 1 define o meio físico, a camada 2 define o protocolo de acesso ao barramento e a camada 7 define as funções de aplicação (CASSIOLATO, 2012).

De maneira geral, a camada física permite a transmissão RS-485 (par trançado com blindagem) e a utilização de fibra ótica em caso de longas distâncias, de acordo com a norma EIA (*Electronics Industries Alliance*). As taxas de transmissão de dados variam de 9,6 kbps a 12 Mbps (PROFIBUS, 2012; CASSIOLATO, 2012).

O descritivo técnico da organização *Profibus* (2012) explica a função do perfil de aplicação, a última das três camadas definidas pelo protocolo *Profibus*.

O perfil de Aplicação descreve a interação do protocolo de comunicação com o meio de transmissão que está sendo utilizado, além de definir o comportamento do dispositivo durante a comunicação. O mais importante perfil de aplicação *Profibus* é, atualmente, o perfil PA, que define os parâmetros e blocos de função para dispositivos de automação de processo, tais como transmissores, válvulas e posicionadores (PROFIBUS, 2012).

### 3.2.2 CANopen

*CANopen* é um protocolo de comunicação de alto nível e uma especificação de perfil de dispositivo para sistemas de rede embarcados, muito utilizado em automação. Este protocolo é baseado no protocolo CAN (*Controller Area Network*) e cobre os pontos importantes como a descrição dos dispositivos, definições de dispositivo e perfis de aplicação.

Enquanto a camada física e a camada de enlace de dados do modelo OSI são definidas pelo protocolo CAN, o protocolo *CANopen* descreve as camadas de rede de dados, transporte, sessão, apresentação e de aplicação, conforme apresentado na Figura 12.

A camada de enlace de dados inclui o fato de que a comunicação do protocolo CAN é baseada em quadros (*frames*). A camada de aplicação define o transporte, sincronização e configuração de dispositivos *CANopen* (NATIONAL, 2013).

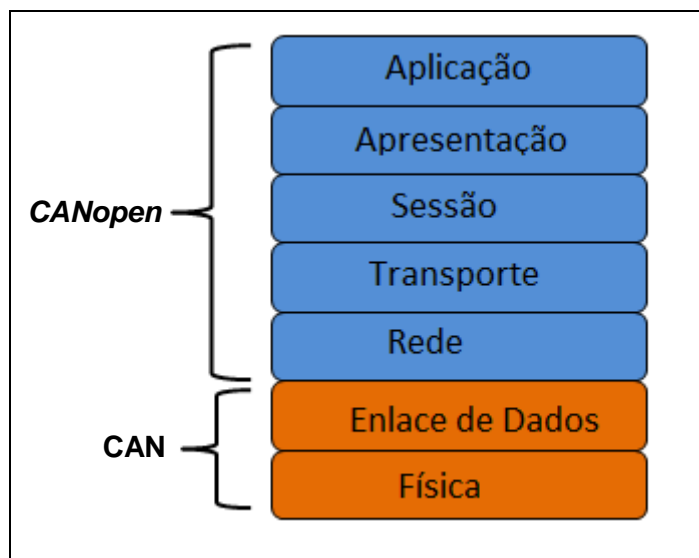


Figura 12 – Protocolos CAN e *CANopen* no modelo OSI.  
Fonte: Adaptado de National (2013).

As principais características do protocolo CAN são (WARWICK, 2014; NATIONAL, 2013):

- Configuração automática da rede;
- Acesso fácil a todos os parâmetros dos dispositivos;
- Sincronização dos dispositivos e sincronização de leitura e escrita dos parâmetros, dados de entrada e dados de saída;
- Transferência de dados cíclica e dirigida a eventos;
- Padronizado pela norma EN 50325-4.

As principais vantagens do seu uso são:

- Protocolo aberto e independente de fabricantes;
- Suporta interoperabilidade de diferentes dispositivos;
- Comunicação em tempo real de alta velocidade;
- Modular, abrangendo dispositivos simples e complexos;
- Programação e interface relativamente fácil, com várias ferramentas de suporte disponíveis, inclusive várias gratuitas.

Existem dois tipos de perfis para a comunicação *CANopen*, sendo que ambos são utilizados no sistema proposto neste trabalho (NATIONAL, 2002):

- *CANopen* de alta velocidade (*High Speed*, HS): permite taxas de transmissão de 40 kbit/s até 1 Mbit/s, dependendo do comprimento do

cabo. Este é o padrão de camada física mais popular para o CANopen, pois o mesmo necessita de uma conexão simples entre cabos. As redes HS são terminadas com resistores de 120 ohms em cada fim de rede.

- *CANopen* com tolerância à falhas (*Fault Tolerant*, FT): permite taxas de transmissão de 40 kbit/s até 125 kbit/s. Este padrão de camada física permite a comunicação *CANbus* continuar funcionando em caso de falha elétrica nos cabos. Este sistema precisa de um preparo mais complexo pois cada dispositivo precisa da sua própria terminação.

Devido às diferenças na terminação, não é possível conectar um dispositivo CAN HS na mesma rede de um dispositivo CAN FT (NATIONAL, 2002).

### 3.3 Projeto de Padronização de Interface de Instrumentação Submarina

O Projeto de Padronização de Interface de Instrumentação Submarina (*Subsea Intrumentation Interface Standardization*, SIIS), é um projeto conjunto da indústria a fim de padronizar as interfaces entre sensores e o sistema de controle submarino. Dentre as principais empresas que formam atualmente essa força conjunta destacam-se as operadoras Statoil (Noruega), Petrobras S.A., Total S.A. (França), *Royal Dutch Shell* e *British Petroil*; as fabricantes de sensores G.E. *Measurement & Control Solutions*, *PreSens* e *Matre*; e as fabricantes de equipamentos submarinos *AkerSolutions*, *Cameron*, *General Electric Oil & Gas* e *FMC Technologies*.

O SIIS define três níveis para dispositivos submarinos (SIIS, 2011):

- Nível 1: sensores analógicos com sinal de saída de 4 a 20 mA com dois fios elétricos;
- Nível 2: sensores ou instrumentos relativamente complexos com conexão digital serial ao sistema de controle em topologia estrela. Podem incluir informações, dados de sensores e dados de configurações que podem ser transmitidos. Podem, também, ter mais de uma função de medição na topologia *multi-drop*. O protocolo de comunicação deve ser o *CANopen* (CiA-443) com a camada física tolerante a falhas conforme a ISO 11898-3.



- Nível 3: para dispositivos ISD (*Intelligent Seabed Devices*, Dispositivos Inteligentes do Leito Marinho), que utilizam comunicação *EtherNet* TCP/IP.

Os sensores de pressão e temperatura utilizados nos fluidos de injeção química do *manifold* deste trabalho utilizam sensores SIIS nível 2. Outro ponto importante estabelecido pela SIIS é a potência de trabalho dos dispositivos, que devem ser alimentados com tensões contínuas de 20 a 27 V e com um dos seguintes valores de potência 4 W, 48 W ou 96 W.

A norma não exige que os cabos sejam blindados ou possuam malha, pois os mesmo aumentam a capacitância total do circuito.

## 4 SISTEMA DE CONTROLE DE UM MANIFOLD SUBMARINO DE INJEÇÃO DO PRÉ-SAL

Esta seção apresenta o sistema de controle de um *manifold* de produção submarina de injeção teórico baseado nos projetos atuais do pré-sal de uma grande operadora de campos petrolíferos brasileira.

### 4.1 SISTEMA DE INJEÇÃO SUBMARINO

O sistema de injeção de água e gás teórico apresentado é baseado nas tecnologias empregadas no pré-sal brasileiro por grandes operadoras nacionais. O sistema de injeção é do tipo Injeção de Água e Gás Alternada Seletiva. O diagrama da Figura 13 apresenta a disposição básica e as principais conexões desse sistema de injeção.

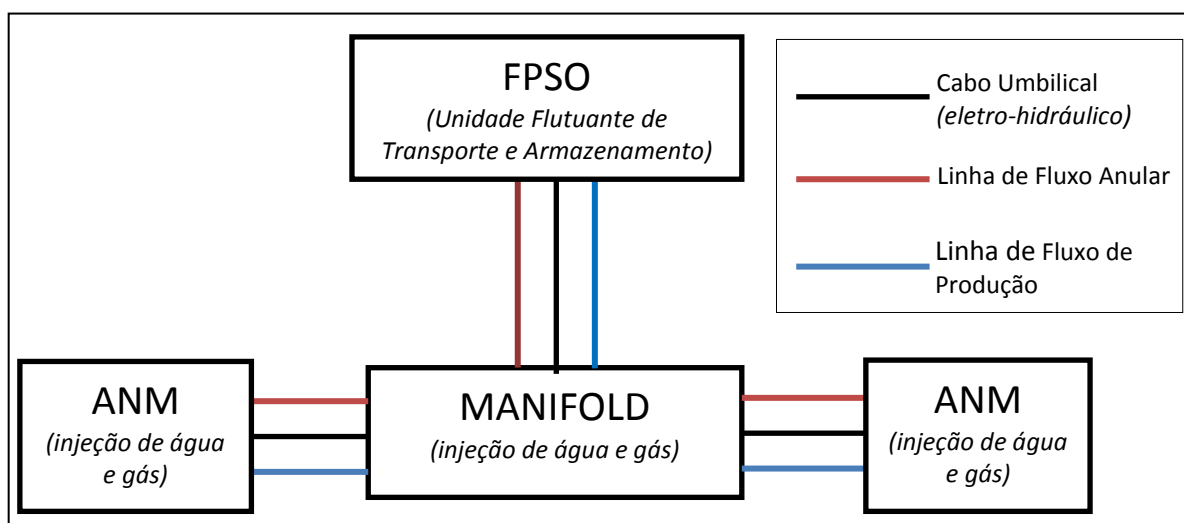


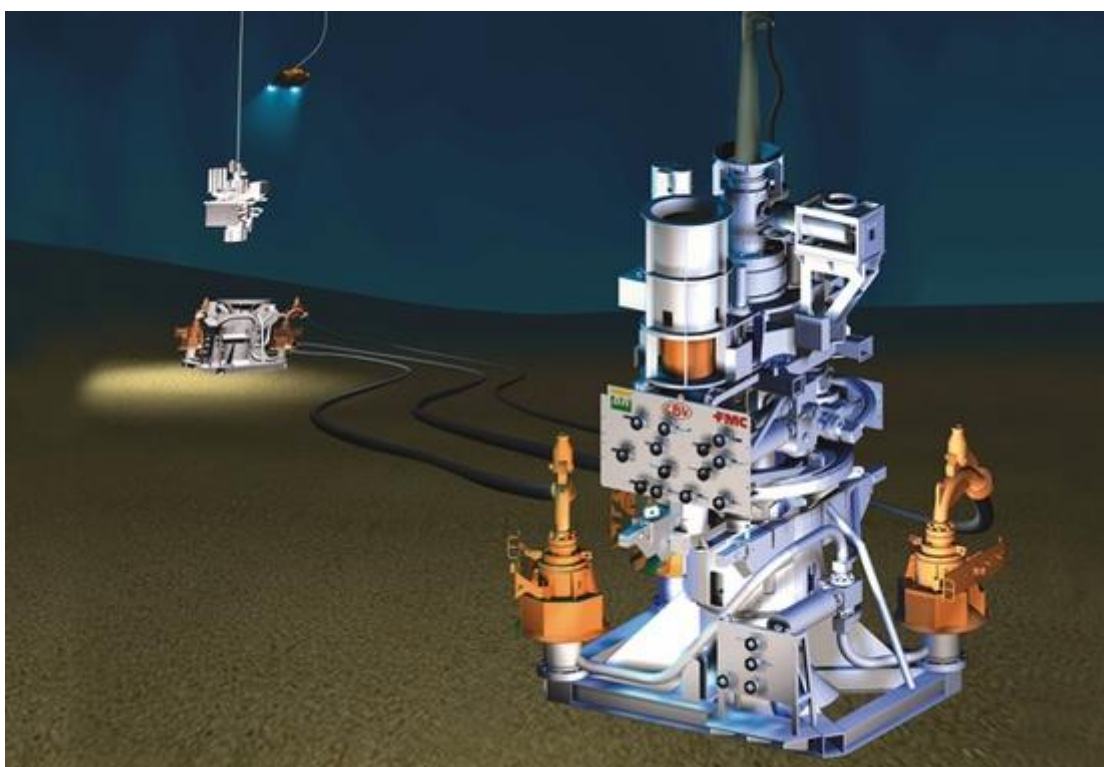
Figura 13 – Interconexões principais do sistema de injeção.  
Fonte: Autoria própria.

A Figura 7 apresenta um *manifold* típico do pré-sal brasileiro, muito próximo ao apresentado neste estudo, para profundidades de 2.500 metros e pressões de trabalho de 10.000 psi.

Conforme apresentado na Figura 13, ao *manifold* estão conectadas, via cabo umbilical de controle e linhas de fluxo, Árvore de Natal Molhada (ANM) utilizadas para injeção de água e gás.

A Figura 14 apresenta uma Árvore de Natal Molhada típica do pré-sal brasileiro, para profundidades de 2.500 metros e pressões de trabalho de 10.000 psi. Essa Árvore de Natal Molhada possui três conexões via cabo umbilical e linhas de fluxo. No caso do *manifold* de injeção deste trabalho, são duas linhas de água ou gás e o cabo umbilical.

Os principais equipamentos desse sistema são o Sistema de Superfície e o Sistema Submarino.



**Figura 14 – Árvore de Natal Molhada do pré-sal.  
Fonte: TB Petroleum (2014).**

#### 4.1.1 Sistema de Superfície

São detalhadas nesse item as características dos principais equipamentos do sistema de controle residentes na Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência (FPSO).

Presume-se que a Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência tenha todos os equipamentos e funcionalidades padrões para este tipo de operação,

como o fornecimento separado de CO<sub>2</sub> e água pressurizada para o sistema submarino, através da linha do anular e da linha de produção.

#### 4.1.1.1 Cabine de Controle Mestre

A Cabine de Controle Mestre (*Master Control Station, MCS*) é o equipamento central do sistema de controle e aquisição de dados, assim como o hospedeiro do servidor OPC e do CLP. Trata-se de um par de cabines idênticas, para fins de redundância física, com os seguintes itens em cada uma:

- Computador industrial com *software* de IHM e servidor OPC;
- *Switch ethernet*;
- Monitor de vídeo, mouse e teclado;
- CLP;
- *Modem* para comunicação com a eletrônica submarina;
- Unidade de potência elétrica.

A Figura 33 do Apêndice A apresenta o diagrama de blocos de todo o sistema de controle superfície, incluído o diagrama da Cabine de Controle Mestre.

#### 4.1.1.2 Unidade de Suprimento Hidráulico e Injeção Química

A Unidade de Suprimento Hidráulico e Injeção Química está localizada no convés da FPSO e são controladas e monitoradas manualmente, ou seja, sem intervenção da Cabine de Controle Mestre.

A unidade de suprimento hidráulico neste sistema, Figura 15, fornece duas saídas de fluido pressurizado em baixa pressão entre 4.000 e 5.000 psi, duas saídas em alta pressão entre 6.500 e 10.000 psi e seis saídas de fluido de injeção química para o sistema submarino, também entre 6.500 e 10.00 psi.

O fluido hidráulico para sistemas submarinos deve possuir baixa viscosidade para diminuir o tempo de resposta, deve ser a base de água e biodegradável para cumprir com legislações ambientais e deve possuir aditivos que protejam o

equipamento contra corrosão, degradação biológica e possibilitem uso do mesmo em temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Os fluidos de injeção química são variados, dependendo da aplicação, sendo exemplos comuns os glicóis e álcoois, como o metanol.



**Figura 15 – Unidade de suprimento hidráulico para testes.**  
Fonte: Seatronics (2014).

#### 4.1.1.3 Unidade de Potência Elétrica

A unidade de potência elétrica alimenta eletricamente o sistema submarino. Neste projeto ela fornece em sua saída na superfície tensões de 450 a 550 V em corrente alternada a uma potência máxima de 1.200 W.

Como entrada, além da rede elétrica da Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência (FPSO) que está conectada ao módulo de entrada, a unidade de potência elétrica está conectada à Cabine de Controle Mestre recebendo a saída de um *modem* em cada um dos módulos de saída, onde o sinal de dados e a potência elétrica em corrente alternada são multiplexados. Existem dois canais redundantes que se comunicam com o *manifold* submarino, ou seja, dois *modems* em cada uma das duas partes idênticas da Cabine de Controle Mestre.

Os dois canais de uma parte da Cabine de Controle Mestre são chamados de canais 1 e 2, e as partes da Cabine de Controle Mestre são chamadas de A e B. Assim, os quatro pares trançados presentes no cabo umbilical que interliga o sistema de superfície ao sistema submarino são chamados de 1-A, 1-B, 2-A e 2-B.

#### 4.1.2 Sistema Submarino

Os equipamentos e principais partes do sistema submarino deste projeto são apresentados neste item.

##### 4.1.2.1 Cabo Umbilical e Unidade de Terminação

O cabo umbilical que interliga a plataforma ao *manifold* e os que interligam o *manifold* às Árvores de Natal Molhadas possuem as seguintes características:

- duas linhas de função hidráulica de baixa pressão, através de mangueiras de ½ polegada JIC 8, 7.500 psi. As linhas de baixa pressão deste projeto fornecem entre 4.000 e 5.000 psi.
- duas linhas de função hidráulica de alta pressão, através de mangueiras de ½ polegada JIC 8, 10.000 psi. As linhas de alta pressão deste projeto fornecem entre 6.500 e 10.000 psi.
- quatro linhas de injeção química, através de mangueiras de ½ polegada JIC 8, 10.000 psi.
- oito condutores de 7 mm<sup>2</sup>, trançados dois a dois, totalizando quatro pares trançados.

A ponta do cabo umbilical que fica submersa é terminada na Unidade de Terminação. Essa unidade faz a interface e conexão dos pares trançados e mangueiras hidráulicas à conectores elétricos e hidráulicos submarinos.

Durante a operação de instalação do *manifold* no campo submarino, a Unidade de Terminação é conectada ao umbilical ainda na plataforma, quando o *manifold* já se encontra no leito marinho. A Unidade de Terminação é, então, lançada e conectada ao *manifold* e *jumpers* hidráulicos e elétricos residentes no *manifold*, que já estavam instalados nele quando esse foi previamente descido ao leito marinho, são conectados à Unidade de Terminação, conectando assim todo o sistema de distribuição submarino do *manifold* ao da superfície.

#### 4.1.2.2 Linhas de Fluxo e Unidades de Conexão

Além do cabo umbilical existem duas linhas de fluxo terminadas em Unidades de Conexão, que são conectadas ao *manifold* de maneira similar as Unidades de Terminação e que transportam água ou gás da plataforma ao *manifold*. Uma linha possui diâmetro interno de 2 polegadas e a outra de 5 polegada.

Esse sistema de distribuição não é tratado com mais detalhes neste trabalho, pois não faz parte do sistema de controle. O sistema de controle, entretanto, faz medição dos valores de pressão e temperatura dessas linhas.

#### 4.1.2.3 Manifold

O *manifold* de injeção de água e gás alternado com instalação *guidelineless* (sem cabos guia) e *diverless* (sem mergulhadores), como todo equipamento de águas ultraprofundas, possui a função de injetar de maneira controlada água e gás em até quatro poços. O *manifold* possui os seguintes módulos recuperáveis:

- um Módulo de Controle de Vazão;
- um Módulo de Interligação;
- uma Central de Distribuição para o sistema elétrico;
- três Unidades de Terminação para as linhas de fluxo de água, localizadas na posição das setas vermelhas na Figura 16;
- três Unidades de Terminação para as linhas de fluxo de gás, localizadas na posição das setas azuis na Figura 16;
- três Unidades de Terminação para os cabos umbilicais, conectando as linhas de injeção química, controle hidráulico e linhas elétricas, localizadas na posição das setas roxas na Figura 16.

A Figura 16 apresenta o diagrama das linhas hidráulicas dos fluidos de injeção (água e gás) e dos fluidos de injeção química. As linhas hidráulicas para fluido de atuação das válvulas não são mostradas nesse diagrama.

A Figura 17 apresenta uma disposição geral dos módulos e equipamentos principais do *manifold*, em uma vista de topo.

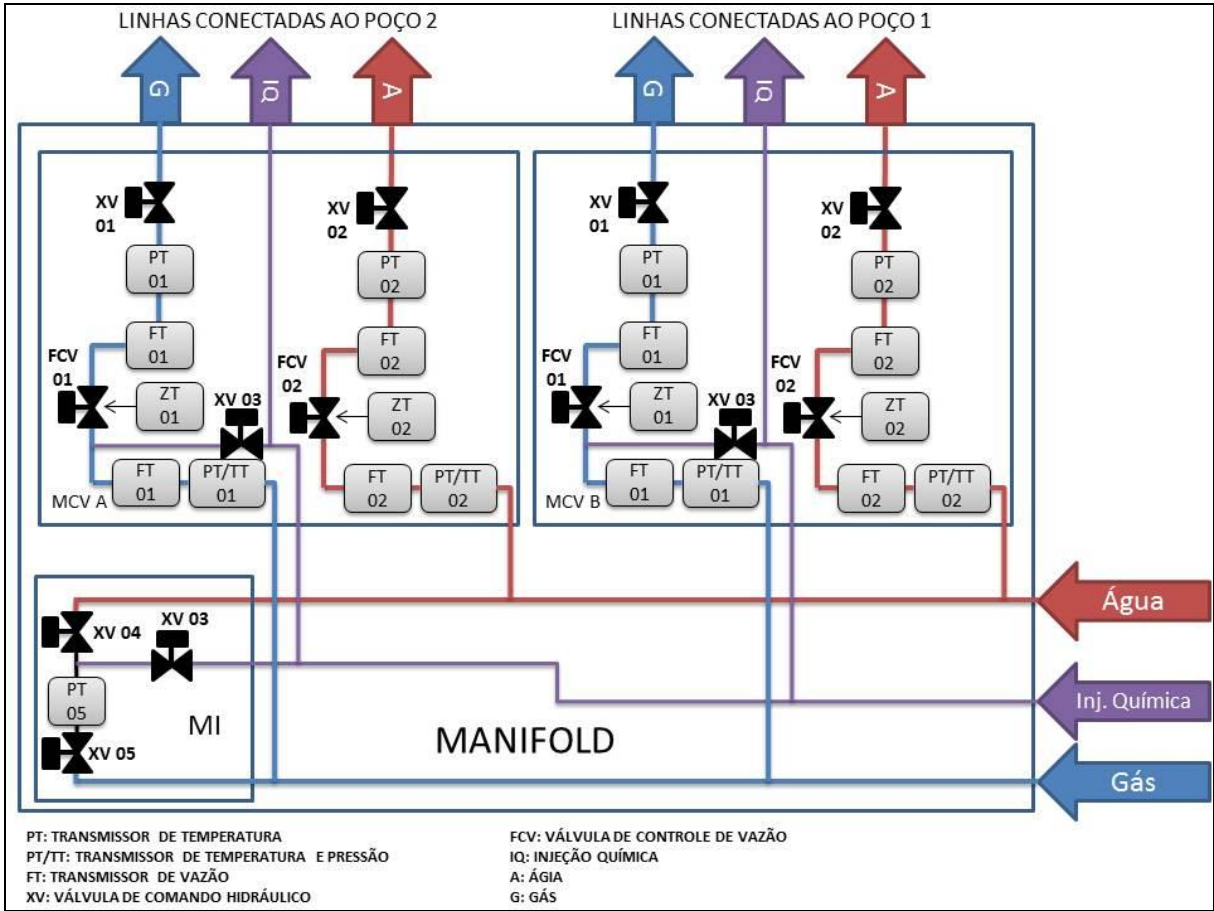


Figura 16 – Diagrama esquemático das linhas de fluido de injeção para o poço e injeção química do manifold.

Fonte: Autoria própria.

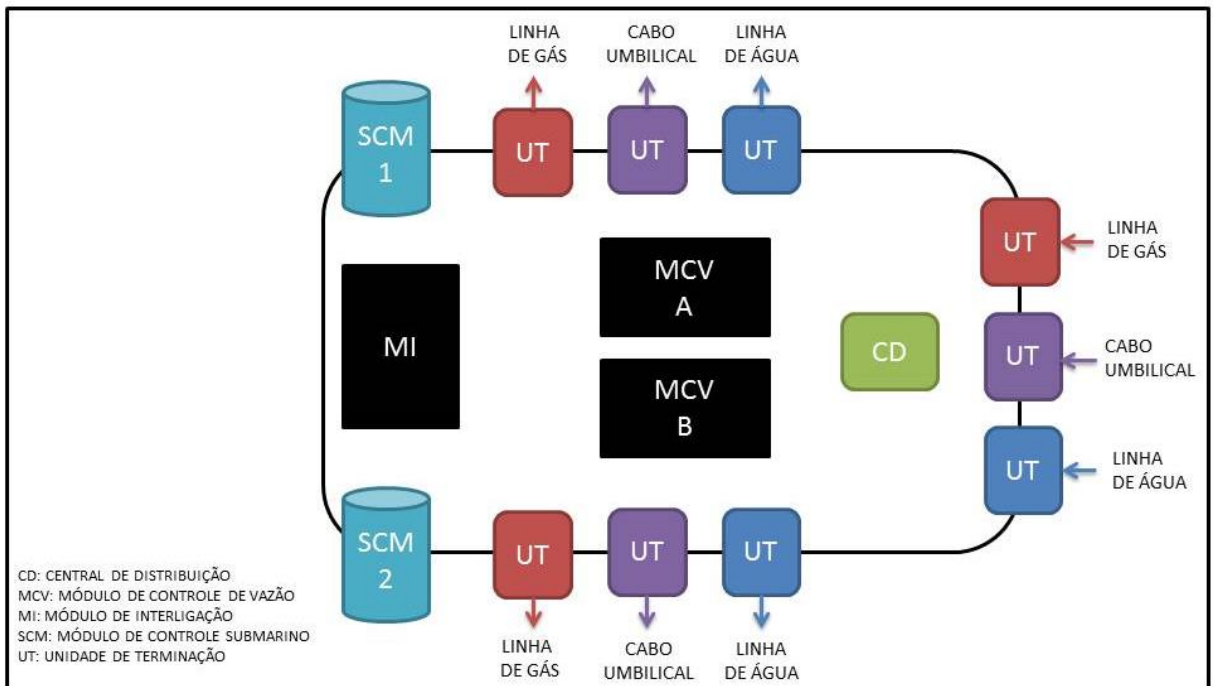


Figura 17 – Disposição geral dos módulos do manifold.

Fonte: Autoria própria.



#### 4.1.2.4 Módulo de Controle de Vazão

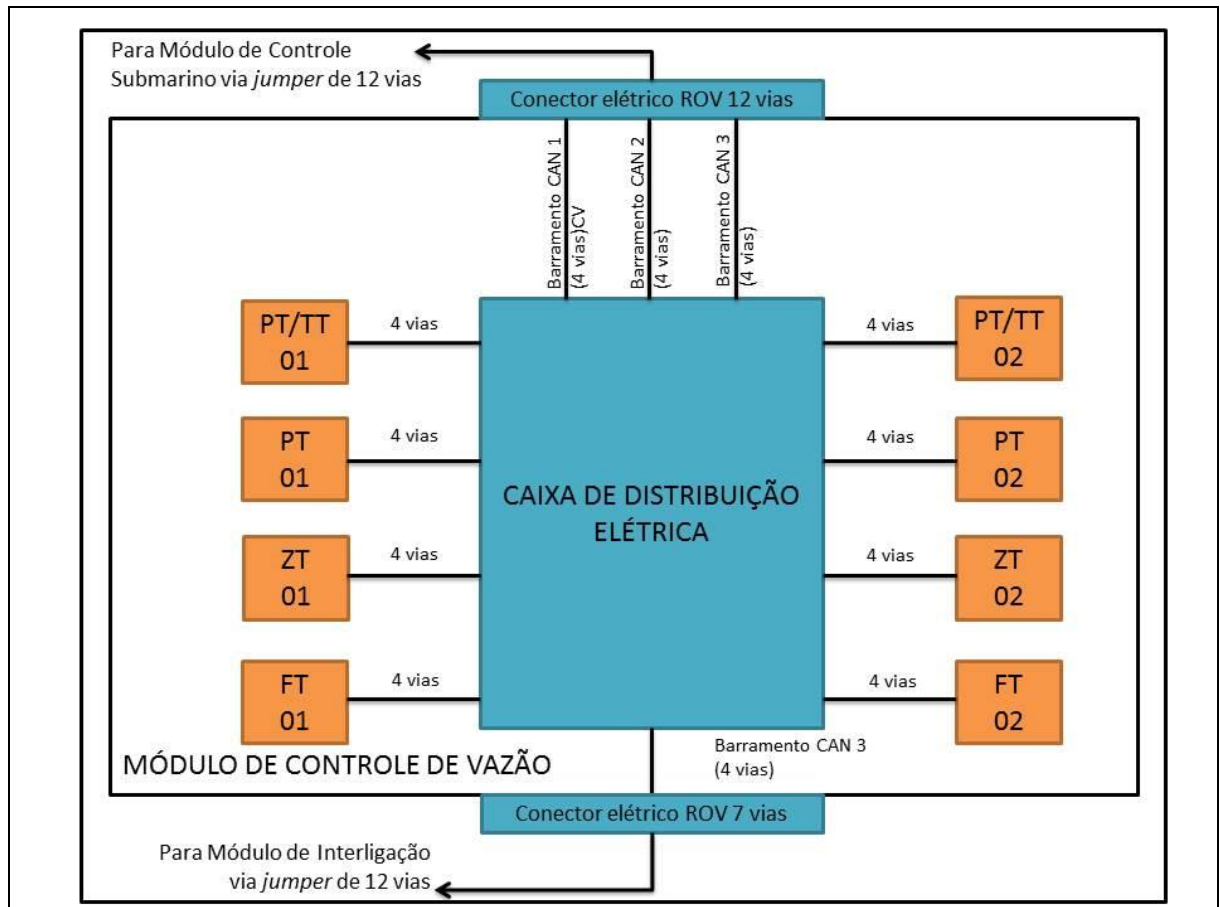
O Módulo de Controle de Vazão (MCV) é um módulo recuperável que abriga as válvulas *choke*, que controlam a vazão dos fluidos injetados nos poços. Esse módulo abriga a maior parte dos sensores e atuadores do *manifold*, que são:

- dois transmissores de pressão (PT) que possuem duas partes eletrônicas distintas cada um e que transmitem dois valores de pressão redundantes;
- dois transmissores pressão e temperatura (PT/TT) com duas partes eletrônicas distintas cada um e que transmitem dois valores de pressão redundantes e dois valores de temperatura redundantes;
- dois medidores de vazão (FT) com dois pares de transmissores de pressão diferencial distintos cada um e que transmitem dois valores de pressão diferencial, que são convertidos em um valor de vazão pela Cabine de Controle Mestre;
- dois transmissores de posição das válvulas de posição (ZT), sendo um em cada válvula *choke* do módulo.

Todos os dispositivos desse módulo trabalham com o protocolo *CANopen*. A Figura 18 apresenta as conexões elétricas entre dispositivos e a caixa de distribuição do Módulo de Controle de Vazão.

#### 4.1.2.5 Módulo de Interligação

O Módulo de Interligação (MI) tem a função de controlar a conexão entre as linhas de água e gás dos Módulos de Controle de Vazão, conforme Figura 16, a fim de utilizar o *manifold* no modo de injeção exclusiva de água com quatro poços (que não é abordado neste trabalho). Em relação ao monitoramento, esse módulo possui dois sensores de pressão com protocolo *CANopen* e duas partes eletrônicas distintas cada.



**Figura 18 – Ligações elétricas do Módulo de Controle de Vazão.**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.1.2.6 Central de Distribuição

A Central de Distribuição (CD) é um módulo recuperável, é uma estrutura com conexões elétricas feitas especialmente para o projeto e que centraliza a distribuição elétrica do projeto. A função da Central de Distribuição é interligar todos os módulos de controle do *manifold* através de jumpers elétricos, tornando-a o principal componente da distribuição elétrica do sistema.

A Central de Distribuição está apta para operar em ambientes submarinos em altas profundidades e possui olhais de içamento para que possa ser recuperada à superfície por cabos de aço da Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência (FPSO), assim como os demais módulos recuperáveis.

A Central de Distribuição deste *manifold* é similar ao módulo de distribuição elétrica da Figura 19. A Figura 20 apresenta as ligações elétricas entre os módulos do *manifold* com quatro poços, sendo todas as ligações feitas por *jumpers* elétricos.



Figura 19 – Módulo de distribuição elétrica recuperável.  
Fonte: Digitron (2013).

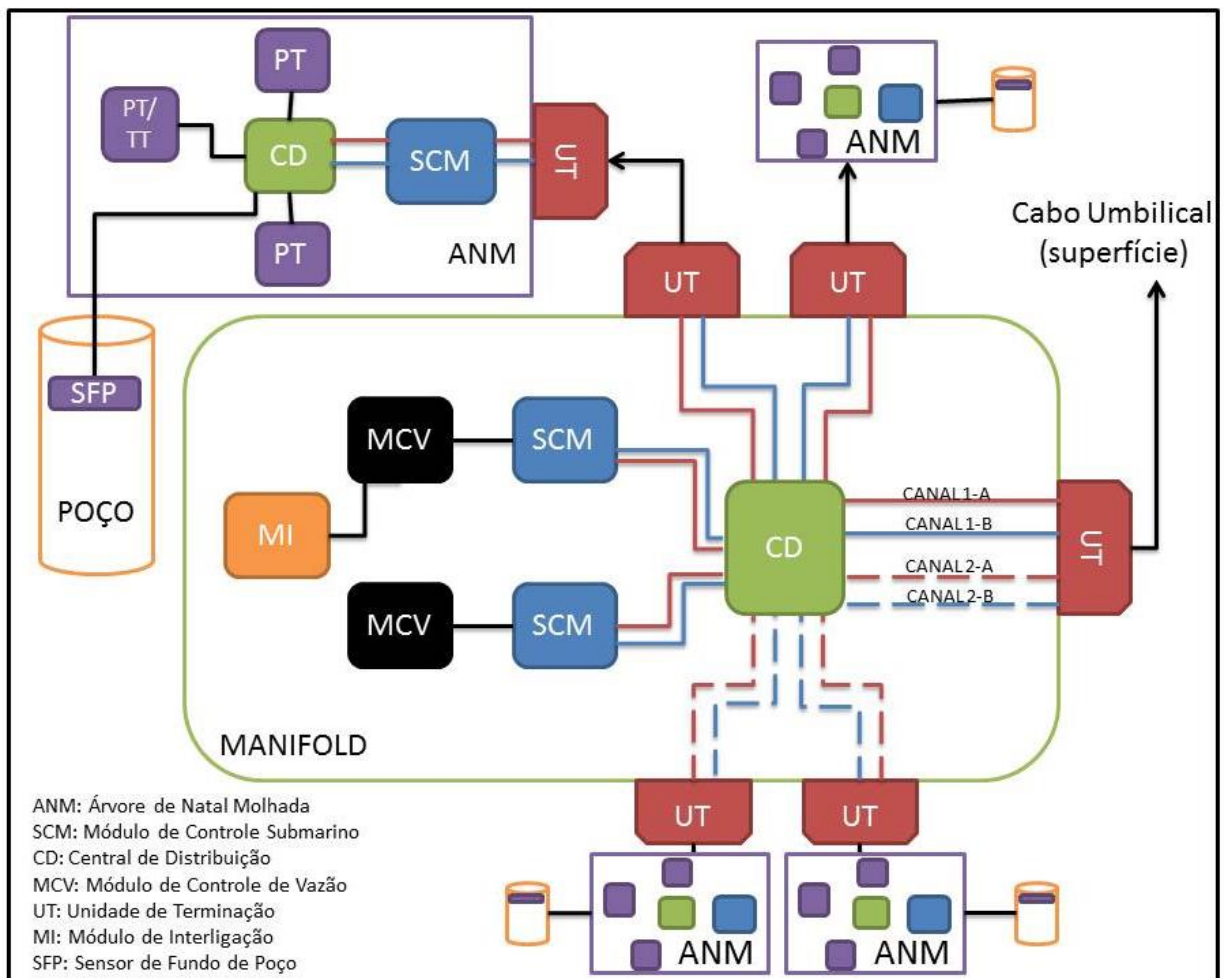


Figura 20 – Diagrama do sistema elétrico com unidade eletrônica centralizada.  
Fonte: Autoria própria.

Ressalta-se que na Figura 16 e na Figura 17 está sendo considerado o *manifold* operando conectado somente a dois poços.

Este trabalho compara o *manifold* deste capítulo na configuração de dois poços ao *manifold* do Capítulo 5, que está conectado a dois poços. O modo de quatro poços é para o caso de utilizar somente uma linha de fluxo de água em cada poço, em vez de uma linha de fluxo de água e outra de gás para cada poço.

#### 4.2 ARQUITETURA DO MÓDULO ELETRÔNICO SUBMARINO TRADICIONAL

Na arquitetura tradicional, o Módulo Eletrônico Submarino possui todas suas partes dentro de um único módulo que mantém a eletrônica protegida do ambiente externo, imersa em gás à pressão próxima da atmosférica.

No caso deste estudo, o Módulo Eletrônico Submarino se situa fisicamente dentro do Módulo de Controle Submarino, que está internamente preenchido com óleo dielétrico. Quando o Módulo de Controle Submarino está submerso no mar, o óleo tem sua pressão equalizada com a pressão externa (pressão hidrostática no leito marinho) através de uma membrana que separa os dois meios (óleo dielétrico e água do mar), conforme Figura 21.

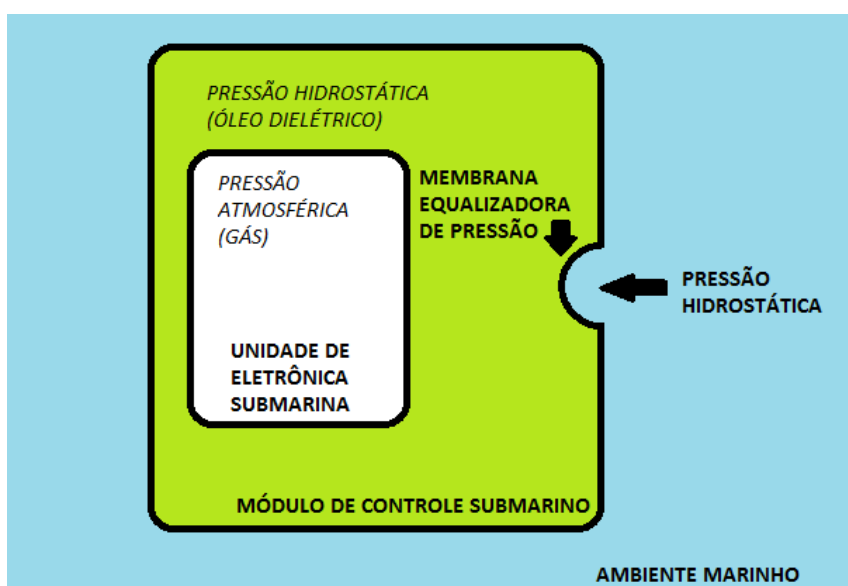
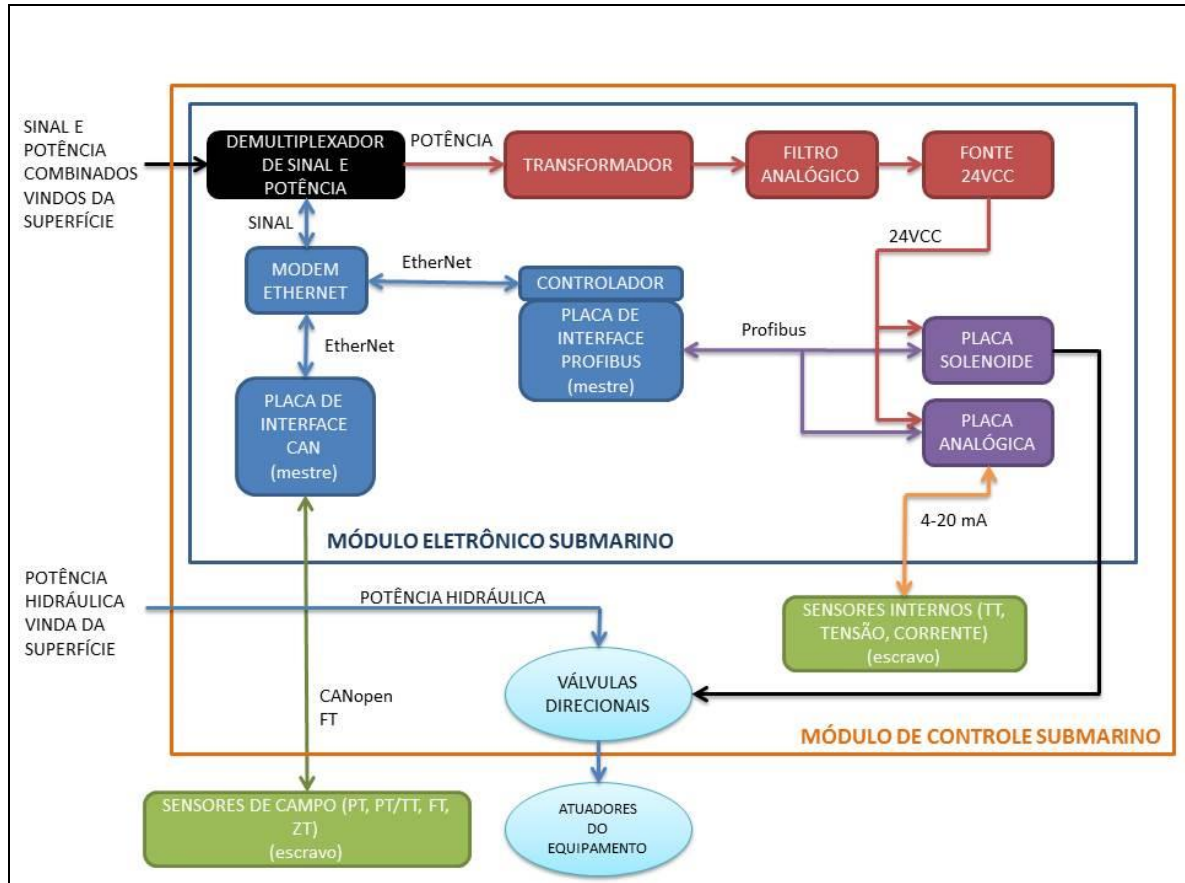


Figura 21 – Equalização de pressão do módulo de controle submarino.  
Fonte: Autoria própria.

O diagrama da Figura 22 apresenta a arquitetura básica de comunicação do Módulo Eletrônico Submarino tradicional.



**Figura 22 – Módulo Eletrônico Submarino tradicional.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Na arquitetura centralizada tem-se o Módulo de Controle Submarino comportando fisicamente todas as válvulas direcionais que atuarão as válvulas das Árvore de Natal Molhada e do *manifold*. As principais funções do Módulo de Controle Submarino são:

- Comportar o Módulo Eletrônico Submarino;
- Acionar os atuadores do equipamento no qual está instalado. O Módulo de Controle Submarino recebe duas linhas de baixa pressão redundantes e duas linhas de alta pressão redundantes. A partir dessas quatro linhas, o Módulo de Controle Submarino pode acionar dezenas de funções (um ou mais atuadores em paralelo) no equipamento (Árvore de Natal Molhada ou *manifold*), dependendo das válvulas direcionais solenoides que são abertas (eletronicamente);

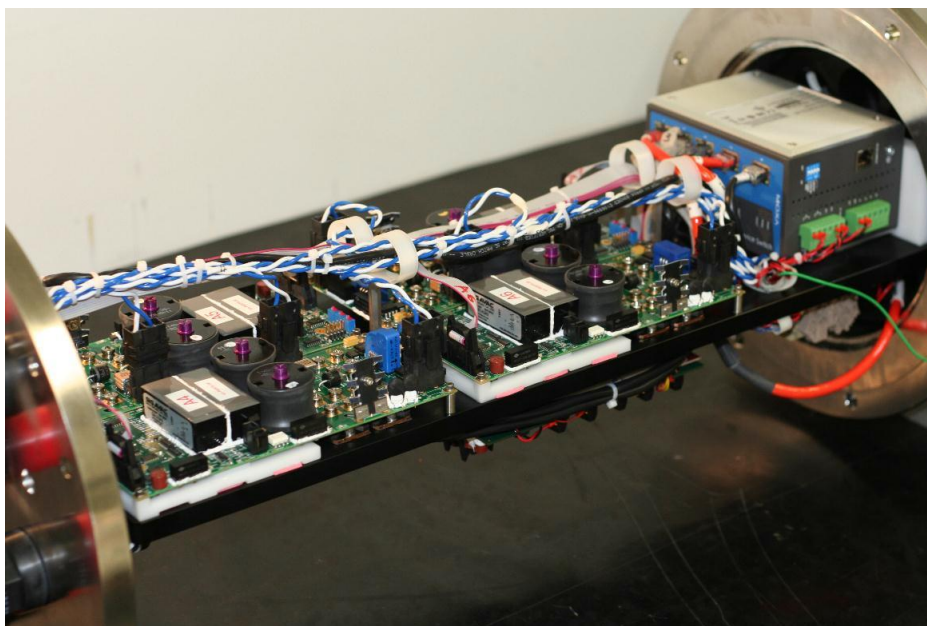
- Ser um módulo recuperável independente do equipamento no qual está instalado, em caso de falha no mesmo ou em seu Módulo Eletrônico Submarino;
- Fazer a interface elétrica entre o Módulo Eletrônico Submarino, a superfície e os sensores de campo.

O Módulo Eletrônico Submarino, que fica dentro do Módulo de Controle Submarino, tem as seguintes funções:

- Comunicar-se com a Cabine de Controle Mestre na superfície, transmitindo todos os dados obtidos dos sensores submarinos e acionando as válvulas solenoides conforme comandos da Cabine de Controle Mestre;
- Fornecer alimentação elétrica regulada para os sensores.

O Módulo Eletrônico Submarino utiliza o protocolo de comunicação *CANopen* com os sensores de campo, segundo a norma CiA 443 e com camada física segundo a norma ISO 11898-3.

A Figura 23 apresenta a parte eletrônica do módulo de interface com o fundo de poço e a Figura 24, o Módulo Eletrônico Submarino fechado.



**Figura 23 – Parte eletrônica do módulo de interface com o fundo de poço.**  
Fonte: Subsea World (2014).



**Figura 24 – Exemplo de Módulo Eletrônico Submarino.**  
**Fonte: Control Systems Brochure (2014)**

#### 4.3 TOPOLOGIA DO MANIFOLD DE INJEÇÃO COM A UNIDADE ELETRÔNICA TRADICIONAL

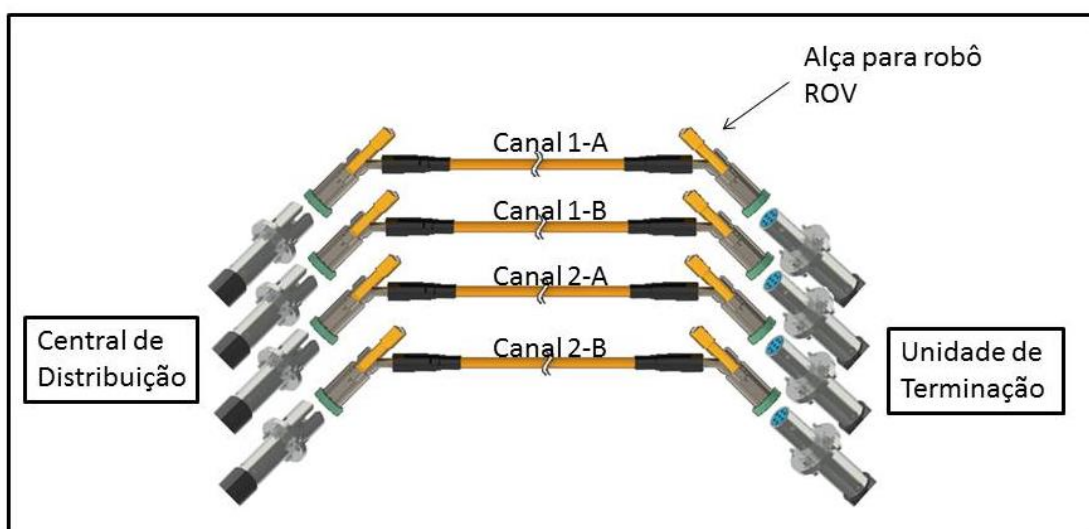
A Figura 20 apresenta o diagrama do sistema elétrico do *manifold* típico do pré-sal em operação conectado a quatro poços/ANMs, utilizando a unidade eletrônica centralizada. A configuração com quatro poços é utilizada somente em caso de injeção exclusiva de água.

Neste trabalho está sendo considerada a configuração com dois poços, em que água e gás são injetados. Neste caso, as linhas tracejadas e as Unidades de Terminação da parte inferior da Figura 20 não estão presentes.

O foco da proposta deste trabalho é a topologia do sistema elétrico/eletrônico. Nesta topologia centralizada do *manifold* tem-se quatro pares trançados de condutores elétricos vindo da superfície através do cabo umbilical, conectando-se à Unidade de Terminação. Na Figura 33 do Apêndice A, pode ser entendido o sistema de superfície que se assume ser o mesmo para as duas topologias apresentadas neste trabalho.

Embora o *manifold* típico possa trabalhar com até quatro canais elétricos em outras configurações, como na configuração de injeção de água exclusiva, o escopo deste trabalho compara o modo de injeção de água e gás com dois poços, que utiliza somente os canais 1-A e 1-B.

A Unidade de Terminação, que faz a interface entre o cabo umbilical e os *jumpers* elétricos e hidráulicos, é instalada e descida ao leito marinho depois do *manifold*. Uma vez que estes dois estão em suas posições no solo marinho, o robô ROV manipula os quatro *jumpers* elétricos (um para cada canal) e os conecta entre a Unidade de Terminação e a Central de Distribuição. Desta maneira, o sistema de superfície está conectado ao sistema submarino. A Figura 25 mostra uma representação simples dos *jumpers* elétricos e dos conectores macho e fêmea conectados à Unidade de Terminação do cabo umbilical da superfície.



**Figura 25 – Representação dos *jumpers* elétricos.**  
**Fonte: Autoria própria.**

O mesmo é feito para as Unidades de Terminação que conectam o *manifold* às Árvores de Natal Molhadas, conforme Figura 20.

Os Módulos de Controle de Vazão, Módulo de Interligação e Central de Distribuição já estão presentes no *manifold* quando o mesmo é instalado. As conexões entre os módulos internos do *manifold* (Módulos de Controle de Vazão e Módulo de Controle Submarino) também são feitas por meio de *jumpers* elétricos de manuseio do robô ROV, mas estes já estão conectados no módulo quando ele é instalado. A razão dessas conexões serem feitas via *jumpers* é que esses módulos precisam ser recuperados para troca ou manutenção.



## 5 MANIFOLD COM O SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO

Este capítulo apresenta a proposta de um sistema para o mesmo *manifold* de injeção do Capítulo 4, mas em vez de se utilizar um Módulo Eletrônico Submarino tradicional é utilizado um conceito novo, que é denominado Sistema Eletrônico Submarino.

### 5.1 SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO

O Módulo Eletrônico Submarino (SEM) tradicional reúne todas as suas funções e componentes dentro de um único tipo de invólucro físico. No Sistema Eletrônico Submarino (SES) essas funções são divididas em três diferentes invólucros: Unidade Central de Processamento, Unidade Auxiliar e Unidade de Potência.

Essas unidades são distribuídas nos equipamentos fora do Módulo de Controle Submarino, não havendo mais o conceito de módulo eletrônico e sim de um Sistema Eletrônico.

A comunicação entre essas unidades é feita pelo protocolo *CANopen HS*. Uma vez que a comunicação é interna, a SIIS não requer que essa comunicação seja através do protocolo tolerante à falhas *CANopen FT*.

#### 5.1.1 Unidade Central de Processamento

A Unidade Central de Processamento (UCP) possui um *backplane* com um *switch Ethernet* integrado e *slots* para integrar cartões modulares com variadas funções, que se comunicam um com o outro através do *switch* integrado.

A Unidade Central de Processamento desta proposta possui os seguintes componentes e características:

- um controlador, com a função de ser o controlador central do Sistema Eletrônico Submarino;
- um *modem* para comunicação com o sistema da superfície;

- um cartão para interface de comunicação *CANopen HS* com os outros invólucros e leitura de dispositivos SIIS nível 2 (*CANopen FT*);
- leitura de sensores com saída de 4 a 20 mA;
- leitura de tensão elétrica;
- comunicação com dispositivos SIIS nível 3 (*EtherNet*);

A Unidade Central de Processamento tem como função controlar as demais unidades do Sistema Eletrônico Submarino e realizar a comunicação com a Cabine de Controle Mestre. Esta unidade pode ser recuperada à superfície individualmente utilizando o robô ROV, pois possui uma alça própria para o robô e suas conexões elétricas podem ser removidas via robô ROV.

Fisicamente, a Unidade Central de Processamento e a Unidade de Potência assemelham-se a um módulo de interface de Sensores de Fundo de Poço (SFP), Figura 26, variando em tamanho e quantidade de conectores elétricos.



**Figura 26 – Interface de Sensores de Fundo de Poço.**  
**Fonte: Autoria própria.**

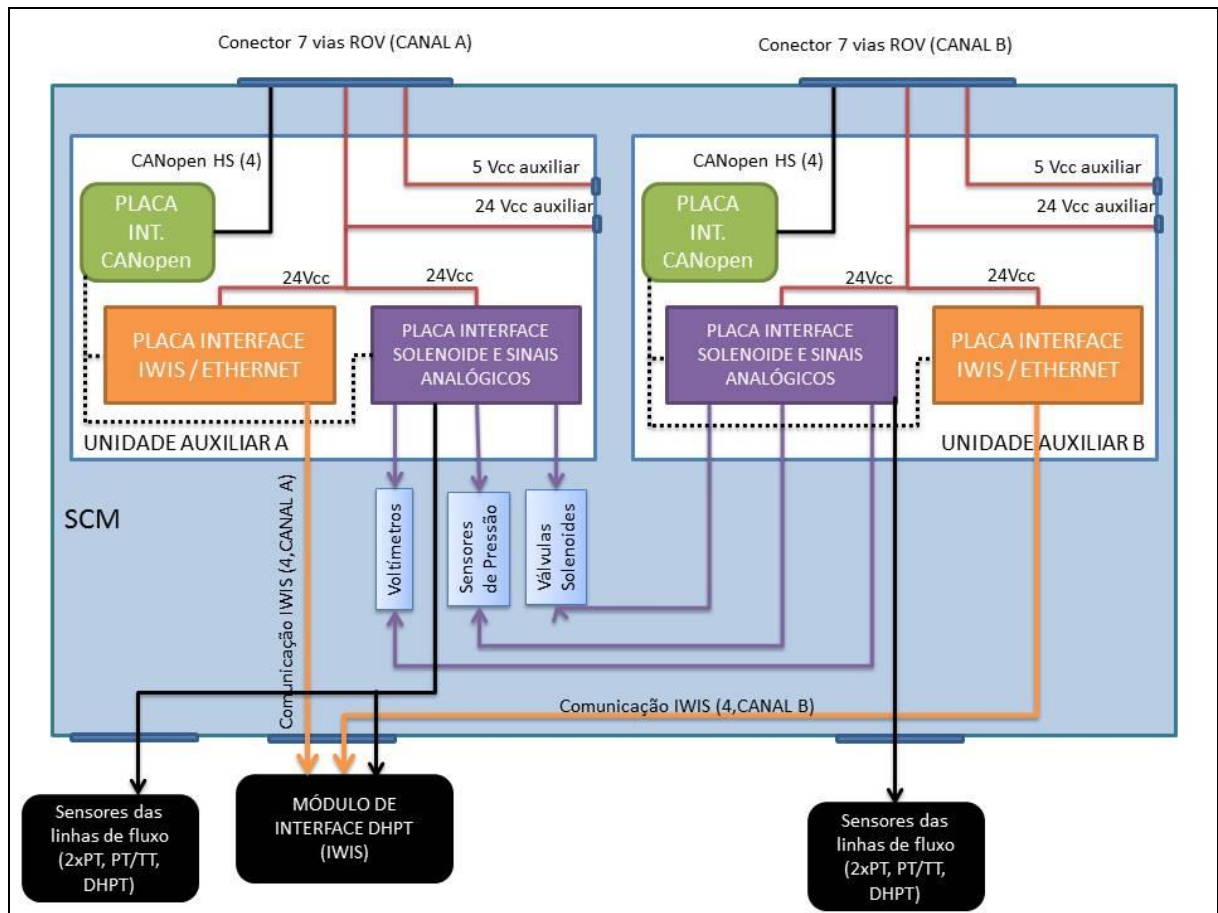
### 5.1.2 Unidade Auxiliar

A Unidade Auxiliar (UA) também possui um cartão de interface *CANopen*, a fim de se comunicar com a Unidade de Processamento Central através do protocolo *CANopen HS*. Esta unidade está fisicamente dentro do Módulo de Controle Submarino, do mesmo modo que fica o Módulo Eletrônico Submarino tradicional.

Da mesma maneira que o Módulo Eletrônico Submarino, também existem duas Unidades Auxiliares dentro do Módulo de Controle Submarino, a fim de se ter redundância física no sistema.

A Unidade Auxiliar possui placas de interface para leitura de dispositivos SIIIS nível 1 e atuação de válvulas solenoides direcionais, que se encontram dentro do Módulo de Controle Submarino. Possui, também, uma placa de interface IWIS (*Intelligent Well Interface System*) para comunicação com o módulo de interface com o Sensor de Fundo de Poço de pressão (mais conhecido como DHPT, *Down Hole Pressure Transducer*), fornecido tipicamente por empresas de completação<sup>6</sup> como *Schlumberger*, *Halliburton* e *Baker Hughes*.

A Figura 27 apresenta o diagrama das Unidades Auxiliares dentro de um Módulo de Controle Submarino instalado em uma Árvore de Natal Molhada.



**Figura 27 – Esquemático do Módulo de Controle Submarino com Unidades Auxiliares instalado em uma Árvore de Natal Molhada.**

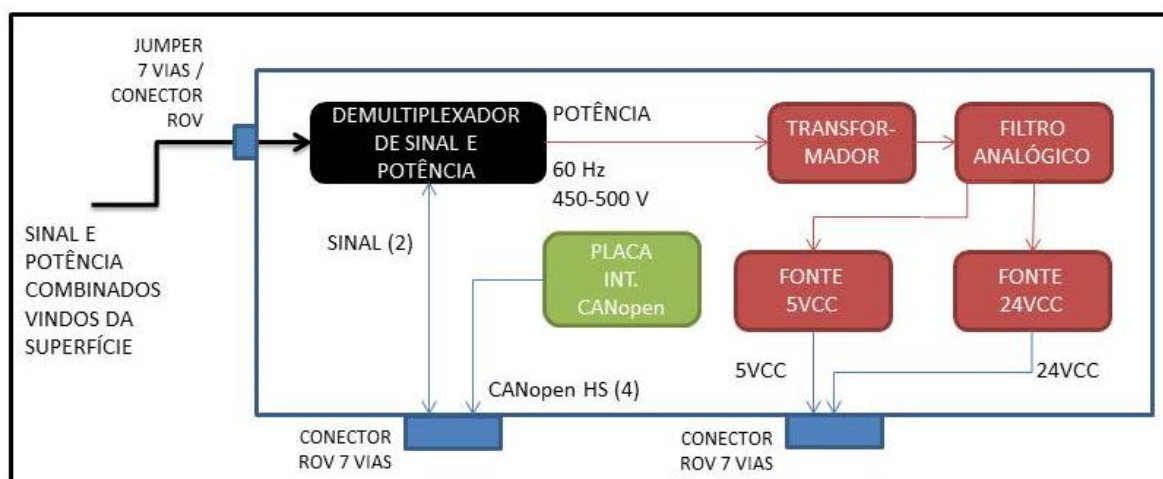
Fonte: Autoria própria.

<sup>6</sup> Completção é o conjunto de operações destinadas a equipar o poço para produzir óleo, gás ou mesmo injetar fluidos nos reservatórios.

### 5.1.3 Unidade de Potência

A Unidade de Potência (UP) tem como função principal tratar o sinal recebido da superfície, que é o sinal de comunicação com protocolo próprio da empresa e a potência elétrica (60 Hz, 450 a 500 V) multiplexados.

A partir desse sinal multiplexado, que passa por um demultiplexador, o sinal de comunicação é transmitido à Unidade Central de Processamento e a tensão em corrente alternada é retificada para 5 e 24 V. A Unidade de Potência fornece essas tensões contínuas para todas as outras unidades. A Figura 28 apresenta o diagrama esquemático da Unidade de Potência.



**Figura 28 – Diagrama esquemático da Unidade de Potência.**  
**Fonte: Autoria própria.**

## 5.2 MANIFOLD DE INJEÇÃO TÍPICO DO PRÉ-SAL COM SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO

Utilizando o Sistema Eletrônico Submarino apresentado na Figura 29, propõe-se uma topologia diferente da apresentada no Capítulo 4 para o *manifold* de injeção típico do pré-sal.

Nesta topologia admite-se a mesma configuração na superfície que a apresentada no Capítulo 4. O escopo desta proposta está restrito a dois poços conectados ao *manifold*, conforme Figura 30. Desta forma, será considerado somente um canal redundante de comunicação com a superfície (A e B).

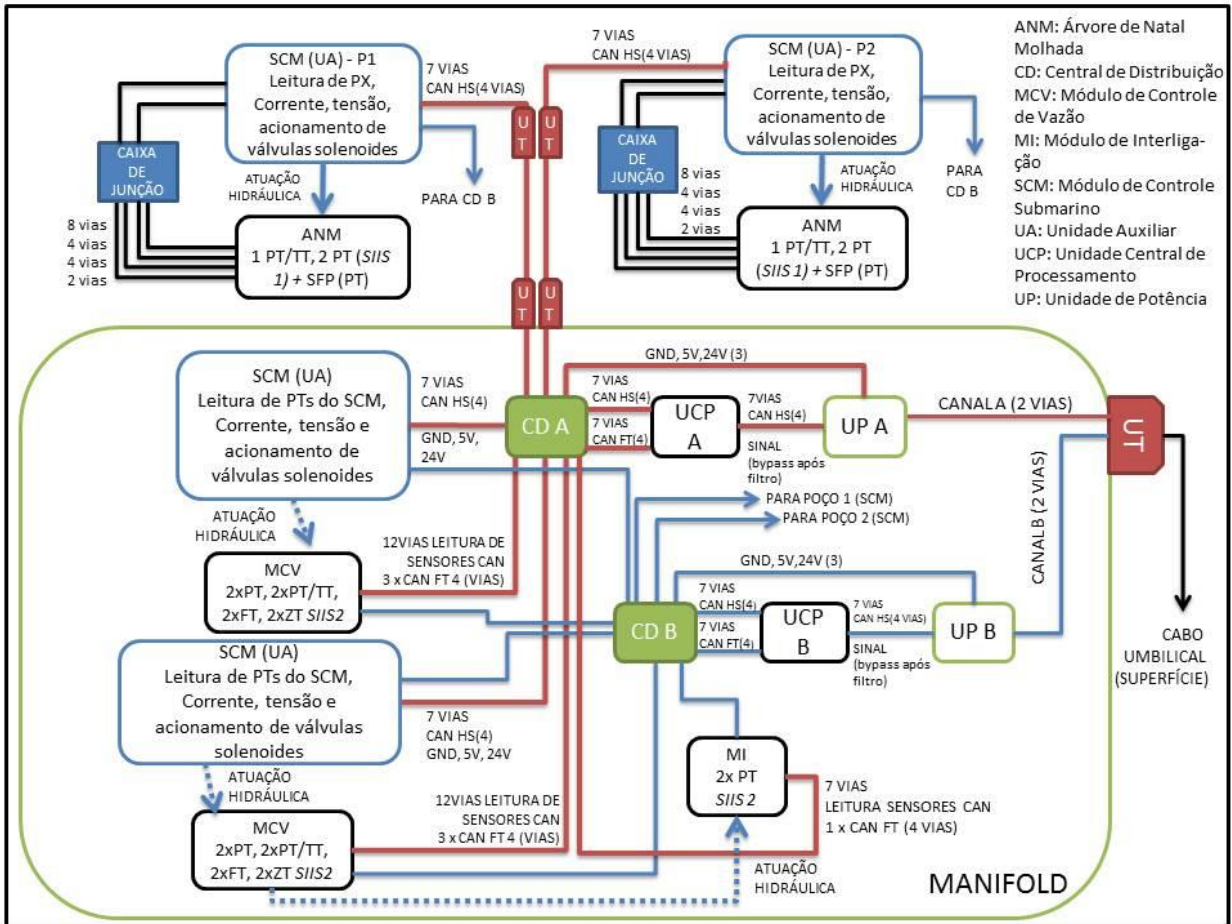


Figura 29 – Topologia da proposta do manifold.  
 Fonte: Autoria própria.

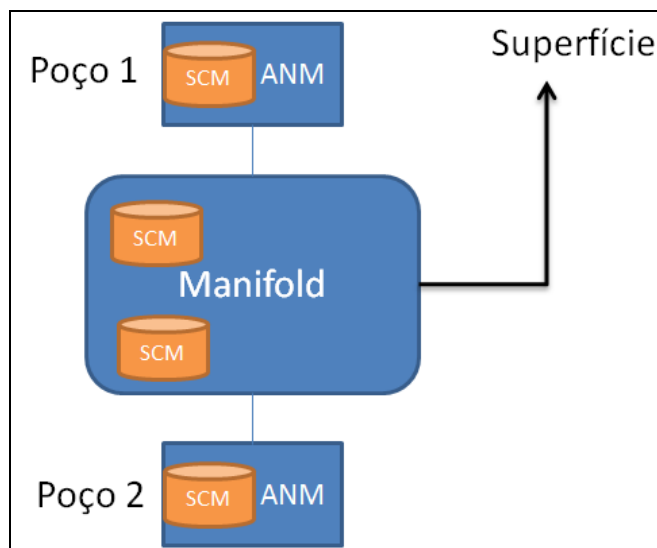


Figura 30 – Configuração de campo da proposta.  
 Fonte: Autoria própria.

Assim como no *manifold* do Capítulo 4, as Árvores de Natal Molhadas possuem sensores analógicos (SIIS nível 1 – 4 a 20 mA) em suas linhas de fluxo (linhas em contato com o poço). Exceto pela parte elétrica/eletrônica do sistema de controle, as Árvores de Natal Molhadas são as mesmas, possuindo dois PT, um PT/TT e um Sensor de Fundo de Poço. Esses sensores são lidos pela Unidade Auxiliar, que se encontra dentro do Módulo de Controle Submarino e que é capaz de se comunicar com os transmissores analógicos externos.

O *manifold* também é o mesmo do apresentado no Capítulo 4, exceto pela parte elétrica/eletrônica do sistema de controle. Os sensores das linhas de fluxo/injeção do *manifold* também são sensores digitais que se comunicam via protocolo *CANopen FT* e possuem interface com a Unidade de Processamento Central.

Como mostrado na Figura 29, em relação às unidades eletrônicas o sistema submarino completo (o *manifold* e as duas Árvores de Natal Molhadas) possui:

- duas Unidades de Potência, estando as duas fisicamente no *manifold*, uma para o canal A e outra para o canal B.
- duas Unidades Centrais de Processamento, estando as duas fisicamente no *manifold*, uma para o canal A (CD A) e outra para o canal B (CD B).
- quatro Módulos de Controle Submarino contendo uma Unidade Auxiliar dentro de cada. Cada Árvore de Natal Molhada possui um Módulo de Controle Submarino e o *manifold* possui dois, sendo que todos os quatro estão simultaneamente conectados aos canais A e B.

As Unidades Centrais de Processamento (CD A e CD B) da Figura 29 operam simultaneamente, mas somente uma dessas controla o sistema por vez. Cada canal, A e B, está conectado respectivamente a sua cabine mestre na superfície (A e B), que são idênticas no *hardware* e individualmente capazes de controlar e operar todo o sistema, trabalhando também em *hot stand-by*<sup>7</sup>. Cada Unidade Central de Processamento está conectada a uma Unidade de Potência exclusiva.

---

<sup>7</sup> *Hot stand-by* é o modo de operação em que dois dispositivos iguais e redundantes operam simultaneamente, mas somente um executa sua função no sistema por vez. Caso este venha a falhar o outro está pronto para assumir tal função imediatamente.

Por padrão, o Sistema A controla e monitora todo o *manifold*, e o Sistema B também é plenamente capaz de controlá-lo. Caso haja uma falha (podendo ser uma falha com total desenergização do Sistema A), seja na Cabine A, no caminho elétrico do canal A, na Unidade Central de Processamento A ou na Unidade de Potência A, o CLP do Sistema B reconhecerá a falta de resposta do CLP do Sistema A e assumirá o controle imediatamente. Cada um dos dois CLPs, A e B, da Cabine de Controle Mestre (conforme Figura 33 do Apêndice A) possui o mesmo programa gravado em sua memória de programa.

Nesta proposta, os dois pares trançados que chegam da superfície pelo cabo umbilical são os mesmos e contêm dados da mesma natureza e protocolo que o *manifold* típico. Cada canal passa, então, pela Unidade de Terminação da Figura 29 que funciona como uma ferramenta de instalação do cabo umbilical e um adaptador que dispõe a continuação do cabo do umbilical em conectores elétricos ROV de sete vias. Embora somente duas vias elétricas sejam utilizadas, as grandes operadoras de campos petrolíferos do Brasil padronizaram seus *jumpers* ROV em sete e doze vias, razão pela qual estão sendo considerados conectores e *jumpers* de sete vias.

Dois *jumpers* elétricos conectam a Unidade de Terminação às Unidades de Potência (UP A e UP B), conforme Figura 29. Estas, por sua vez, recebem o sinal de comunicação e de potência multiplexados e os demultiplexa. O sinal de comunicação é diretamente repassado à Unidade Central de Processamento através de outro *jumper* de sete vias, enquanto o sinal de potência elétrica é retificado em um sinal de tensão contínua de 5 e 24 V, que são repassados para suas respectivas Centrais de Distribuição (CD A e CD B).

O mesmo *jumper* de sete vias que conecta a Unidade de Potência à Unidade Central de Processamento também possui um canal de comunicação *CANopen HS*, que permite à Unidade Central de Processamento controlar e monitorar as funções elétricas da Unidade de Potência. O Quadro 2 descreve as funções das vias do *jumper* que conecta as Unidades de Potência às Unidades Centrais de Processamento.

O outro *jumper* conecta a Unidade de Potência à Central de Distribuição e utiliza três vias elétricas das sete disponíveis, conforme apresentado no Quadro 3.

Via Elétrica	Descrição
1	CAN_24V <sub>CC</sub>
2	GND
3	CAN_H
4	CAN_L
5	Sinal de Comunicação
6	Sinal de Comunicação
7	Não Usado

**Quadro 2 – Descrição das vias elétricas do jumper que conecta a Unidade de Potência à Unidade Central de Processamento.**

**Fonte: A autoria própria.**

Via Elétrica	Descrição
1	0 V <sub>CC</sub>
2	+5 V <sub>CC</sub>
3	+24 V <sub>CC</sub>
4	Não Usado
5	Não Usado
6	Não Usado
7	Não Usado

**Quadro 3 – Descrição das vias elétricas do jumper que conecta a Unidade de Potência à Central de Distribuição.**

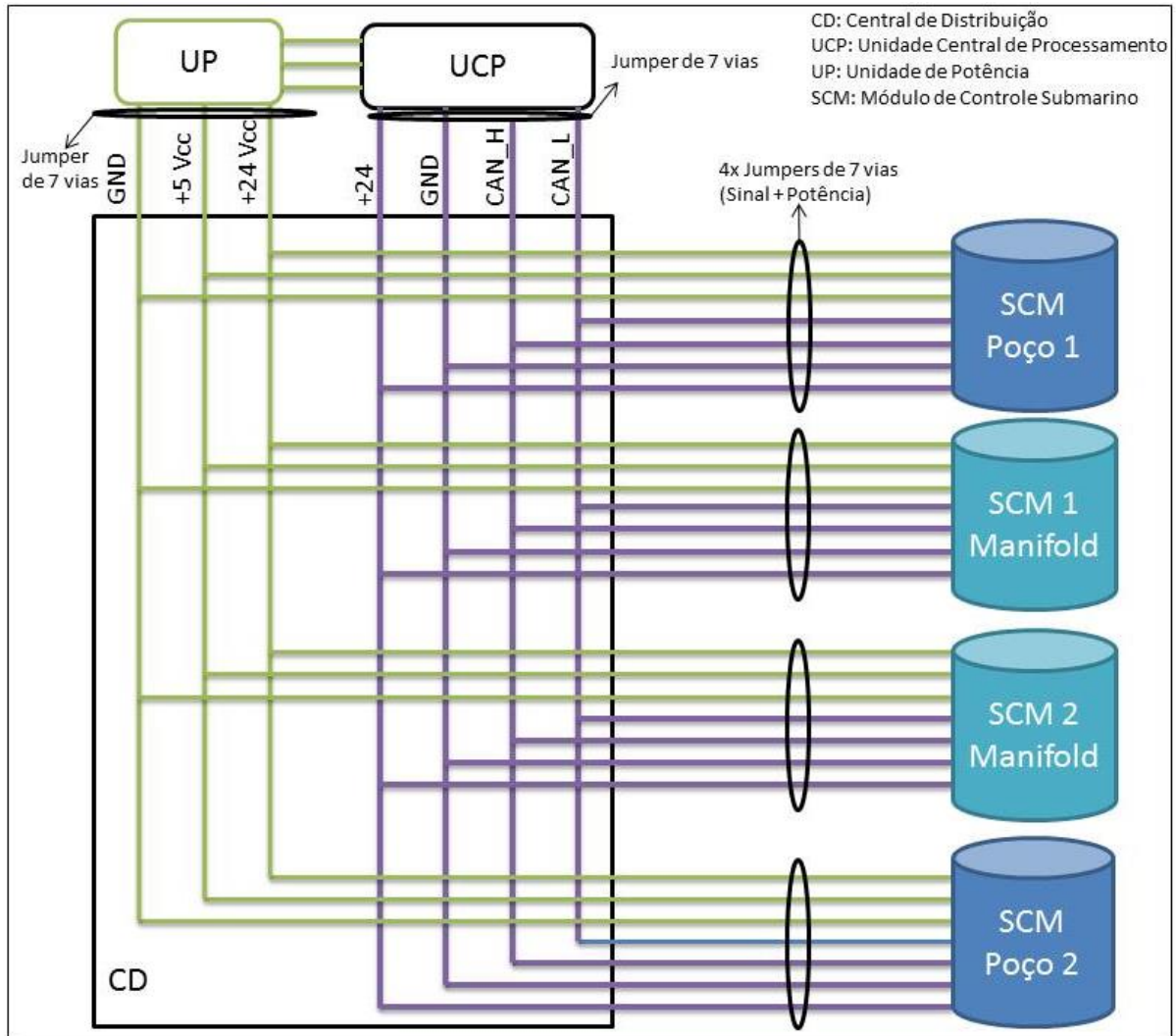
**Fonte: A autoria própria.**

A Central de Distribuição é um módulo recuperável. Essa alimentação elétrica fornecida pela Unidade de Potência é, então, distribuída aos Módulos de Controle Submarinos fornecendo potência às Unidades Auxiliares, para que estas possam atuar as válvulas solenoides direcionais (DCV).

A Unidade Central de Processamento, em seu outro conector elétrico de sete vias, está conectada à Central de Distribuição, conforme Figura 29.

A Figura 31 apresenta as conexões entre todas as unidades (UP, UCP e UA/SCM) de uma rede do *manifold* (A ou B). As redes A e B são idênticas. No caso, tem-se uma Unidade de Potência e uma Unidade Central de Processamento conectadas a quatro Unidades Auxiliares, representadas pelos Módulos de Controle Submarinos na Figura 31.



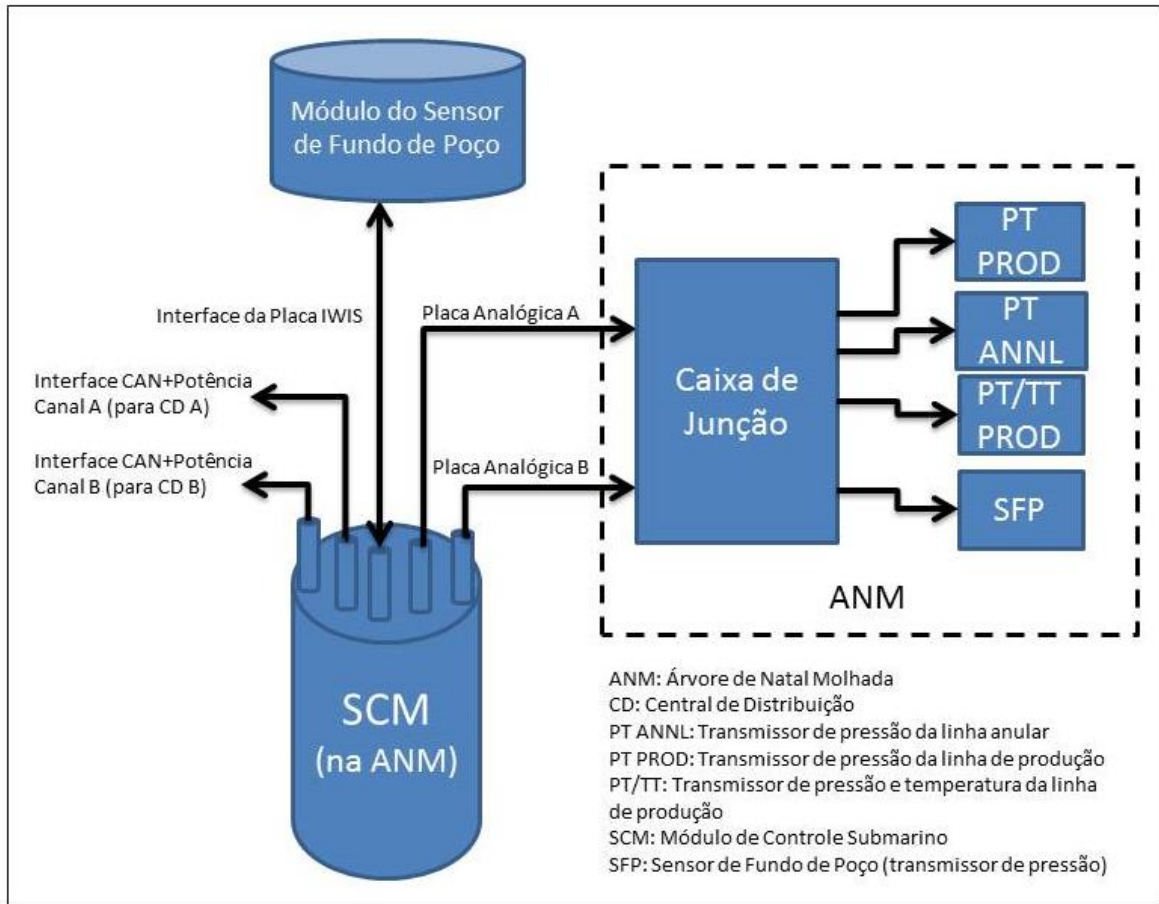


**Figura 31 – Conexões entre todas as unidades de uma rede do manifold.**  
 Fonte: Autoria própria.

A Figura 27 apresenta o diagrama interno do Módulo de Controle Submarino dos poços, que está instalado em uma Árvore de Natal Molhada. A Figura 32 apresenta mais detalhes sobre as conexões externas do Módulo de Controle Submarino com os sensores da Árvore de Natal Molhada e o módulo do Sensor de Fundo de Poço (conhecido também como módulo IWIS), que também está instalado na Árvore de Natal Molhada e é um módulo independente e recuperável. As setas na Figura 32 representam *jumpers* ou mangueiras com condutores elétricos.

Novamente tem-se a mesma configuração dos *jumpers* (fiação) para o canal A e canal B. Para os transmissores de pressão PT PROD (que fica na linha de produção) e PT ANNL (que fica na linha anular), que são redundantes, tem-se dois elementos sensores e duas unidades eletrônicas independentes. Esses

transmissores possuem, portanto, duas saídas de 4 a 20 mA e quatro condutores elétricos conectados à caixa de junção da Figura 32.



**Figura 32 – Conexões externas do Módulo de Controle Submarino na Árvore de Natal Molhada.**  
**Fonte: Autoria própria.**

O transmissor de pressão e temperatura combinados PT/TT PROD (que fica na linha de produção), que é redundante, possui quatro elementos sensores, duas unidades eletrônicas independentes e quatro saídas de 4 a 20 mA, Portanto, esse transmissor possui oito condutores conectados à caixa de junção da Figura 32.

Para cada canal (A e B) tem-se a via de referência elétrica do sinal de todos os transmissores supracitados compartilhada (um independente para o canal A e outro para o B), e mais uma via para cada uma das seguintes funções:

- sinal analógico para o valor de pressão do PT PROD;
- sinal analógico para o valor de pressão do PT ANN;
- sinal analógico para o valor de pressão do PT/TT PROD;
- sinal analógico para o valor de temperatura do PT/TT PROD.

Para a leitura desses transmissores tem-se, então, cinco vias do *jumper*. As outras duas vias são para o Sensor de Fundo de Poço. Este sensor usa um protocolo específico da empresa responsável pela completação do poço, que é transmitido diretamente até o Módulo do Sensor de Fundo de Poço, tratado e decodificado pelo Módulo do Sensor de Fundo de Poço e o valor de pressão do fundo do poço é transmitido de volta à Unidade Auxiliar.

Os dois Módulos de Controle Submarino instalados no *manifold*, ao contrário do *manifold* típico apresentado no Capítulo 4, não fazem monitoramento dos sensores dos Módulos de Controle de Vazão e do Módulo de Interligação, pois estes são dispositivos digitais SIIS nível 2 com comunicação *CANopen* e a Unidade Auxiliar pode monitor apenas sensores externos SIIS nível 1. Relembrando, todos os quatro Módulos de Controle Submarinos considerados nesta proposta são iguais e possuem duas Unidades Auxiliares dentro de cada, conforme Figura 27. Os dois Módulos de Controle Submarinos no *manifold*, portanto, fazem somente o controle hidráulico dos módulos.

No Apêndice A, a Figura 34 mostra detalhadamente todas as conexões entre módulos (via *jumpers* elétricos) e as conexões dentro das caixas de junções do *manifold* proposto. Na Figura 34 pode-se ver as quatro linhas elétricas do cabo umbilical sendo distribuídas por todo o *manifold* até as Unidades de Terminação que se conectam via cabo umbilical às Árvores de Natal Molhadas dos poços 1 e 2.

As Árvores de Natal Molhadas que estão conectadas ao *manifold* possuem seu diagrama elétrico detalhado mostrado na Figura 35 do Apêndice A. Somente um diagrama genérico é mostrado para as duas Árvores de Natal Molhadas, pois as conexões elétricas são iguais entre as duas árvores. Na Figura 35 do Apêndice A o cabo umbilical que está conectado entre a Árvore de Natal Molhada e o *manifold* é mostrado, assim como suas conexões até o Módulo de Controle Submarino da Árvore de Natal Molhada e as conexões do Módulo de Controle Submarino até os sensores da Árvore de Natal Molhada.

## 6 COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS SISTEMAS

Neste trabalho foram apresentadas duas topologias distintas para a distribuição do sistema de controle: a de um *manifold* típico de injeção utilizado no pré-sal brasileiro e uma proposta de topologia utilizando um sistema diferente. A primeira é chamada de Módulo Eletrônico Submarino (SEM), pois todas as suas partes físicas ficam no mesmo invólucro, e a segunda de Sistema Eletrônico Submarino (SES), pois a mesma possui suas funções distribuídas e interconectadas em diferentes partes do sistema e em diferentes equipamentos.

As características da parte eletrônica são o fator que com certeza mais influencia no projeto de um sistema de controle submarino. Ressalta-se, mais uma vez, que a tecnologia do Sistema Eletrônico Submarino é uma tendência certa para o mercado de óleo e gás em águas profundas e ultraprofundas, mas certamente não a única tendência. Entretanto, sabe-se que as grandes operadoras brasileiras de campos de petróleo são muito conservadoras e resistentes a mudanças de tecnologias. Atualmente, as grandes operadoras brasileiras do pré-sal possuem projetos definidos para equipar seus campos em nível comercial com equipamentos baseados no sistema que utiliza Unidades Eletrônicas Submarinas até 2018. Com base nisso, não é possível afirmar que se verá a tecnologia do Sistema Eletrônico Submarino implementado ainda nesta década.

Este capítulo apresenta análises e comparações entre as duas topologias apresentadas, assim como suas vantagens e desvantagens. A comparação foi feita realizada com os *manifolds* operando com somente dois poços conectados a eles, o que ocorre no modo de injeção de água e gás. Se somente água for injetada, é possível conectar o *manifold* a quatro poços. Com somente dois poços, o *manifold* típico utiliza somente um canal redundante (A1 e B1 são utilizados e A2 e B2 não são utilizados), assim tem-se uma equivalência com o sistema proposto que possui somente os canais A e B.

## 6.1 ANÁLISE DA TOPOLOGIA DO MANIFOLD TÍPICO DE INJEÇÃO DO PRÉ-SAL

Esse sistema possui a topologia de rede e distribuição elétrica do *manifold* típica com as seguintes premissas de projeto, oriundas do Módulo Eletrônico Submarino tradicional:

1. Em todo o Sistema de Produção Submarino existe somente um tipo de módulo contendo a parte eletrônica submarina.
2. Este módulo fica localizado dentro do Módulo de Controle Submarino, em pares para redundância.
3. Esse módulo contém todas as funções necessárias à parte eletrônica:
  - a) *Drivers* para atuação das válvulas solenoides direcionais do Módulo de Controle Submarino;
  - b) Leitura de sensores SIIS nível 1 (saída de 4 a 20 mA);
  - c) Leitura dos valores de tensão, corrente e temperatura internos;
  - d) Comunicação com dispositivos SIIS nível 2 (protocolo *CANopen FT*);
  - e) Interface com o módulo do Sensor de Fundo de Poço;
  - f) Demultiplexação do sinal de comando e potência elétrica vindos da Cabine de Controle Mestre;
  - g) Fontes de tensão contínua (5 e 24 Vcc);
  - h) Comunicação com a superfície (*modem*);
  - i) Controlador do sistema submarino.
4. Todos os Módulos Eletrônicos Submarinos estão ligados no mesmo barramento. Do ponto de vista do meio elétrico, todos os invólucros se comunicam diretamente com a Cabine de Controle Mestre na superfície.
5. Todos os Módulos de Controle Submarinos, que contêm dois Módulos Eletrônicos Submarinos, estão conectados à Cabine de Controle Mestre através de dois canais (A1 e B1), que são conectados por *jumpers* e caixas de junções independentes no *manifold*.
6. Os sensores dos Módulos de Controle de Vazão estão conectados a um Módulo de Controle Submarino através de um único *jumper*, ou seja, não há redundância em caso de falha no meio elétrico neste ponto. Existem três barramentos *CANopen FT* que conectam separadamente os sensores do Módulo de Controle de Vazão.

7. O Módulo de Interligação também está conectado a um Módulo de Controle de Vazão através de um único *jumper* elétrico. Seus sensores estão junto a um dos barramentos dos sensores do Módulo de Controle de Vazão.
8. Não há redundância no caso de falha do *jumper* entre o Módulo de Controle de Vazão e o Módulo de Interligação.
9. O Módulo de Interligação pode ser conectado a outro Módulo de Controle de Vazão via *jumpers* elétricos.
10. Os sensores do *manifold* possuem duas partes eletrônicas distintas e elementos sensores independentes no mesmo dispositivo, mas conectadas ao mesmo barramento *CANopen FT*.

As principais vantagens desse sistema em relação ao sistema proposto são:

- Preparação e manufatura mais simples pois possui menos módulos e, conseqüentemente, menos conexões elétricas (*jumpers*) a serem testados.
- Menor custo pois existe menos invólucros e menos *jumpers*, conseqüentemente, menos conectores elétricos, menos capas de proteção e menos conectores de manobra. As caixas de junção elétrica dos módulos possuem somente um barramento, diminuindo sua complexidade.
- Se houver falha em uma unidade eletrônica (Módulo Eletrônico Submarino A ou B) de um Módulo de Controle Submarino do *manifold*, o módulo que assumir lerá os dois valores dos sensores de campo redundantes, pois esses estão no mesmo barramento.

As desvantagens desse sistema são:

- A distribuição elétrica não é completamente redundante. Se houver falha física no barramento entre os sensores do *manifold* e os Módulos de Controle Submarinos do *manifold* (por exemplo ingresso de água nos *jumpers*, nos sensores ou na caixa de junção), o Módulo Eletrônico Submarino A e o Módulo Eletrônico Submarino B terão problemas de comunicação com os dispositivos afetados, pois eles compartilham o mesmo barramento.

- Se houver alguma falha que necessite reparos no Módulo Eletrônico Submarino, o Módulo de Controle Submarino todo precisa ser recuperado à superfície e o sistema perderá proporcionalmente sua funcionalidade e, conseqüentemente, haverá redução na taxa de produção de hidrocarbonetos.
- As duas partes eletrônicas de cada sensor redundante de campo estão sendo eletricamente alimentadas pelo mesmo Módulo Eletrônico Submarino operante de um Módulo de Controle Submarino, enquanto o Módulo Eletrônico Submarino que está em *stand-by* não fornece energia. Isso reduz a quantidade de dispositivos *CANopen* que podem ser conectados a um barramento pois cada Módulo Eletrônico Submarino, em conformidade com a SIIS, somente fornece 96 W de potência. Potência extra é utilizada para ler valores redundantes.

## 6.2 ANÁLISE DA TOPOLOGIA DO MANIFOLD PROPOSTO COM UM SISTEMA ELETRÔNICO SUBMARINO

As vantagens da topologia proposta com o Sistema Eletrônico Submarino são:

- A distribuição elétrica entre módulos e invólucros é completamente redundante no *manifold* (a comunicação com o Sensor de Fundo de Poço na Árvore de Natal Molhada não é redundante em seu meio físico). Se houver uma falha em um dos *jumpers* que conecta os Módulos de Controle Submarinos aos Módulos de Controle de Vazão ou ao Módulo de Interligação, existe outro *jumper* independente para outro canal, que ainda continuará fazendo a leitura do sistema.
- No *manifold*, o sistema A é independente do B. Se houver alguma falha em algum dispositivo ou módulo do Sistema Eletrônico Submarino, este pode ser recuperado à superfície e substituído sem qualquer parada no sistema. Esta é a principal vantagem deste sistema.
- Os dois Sistemas Eletrônicos Submarinos (A e B) fornecem de forma compartilhada energia aos sensores de campo (PT, PT/TT, ZT e FT), ou

seja, um dado dispositivo redundante, com duas partes eletrônicas distintas, tem cada uma delas alimentada por um Sistema Eletrônico Submarino. Isso aumenta a quantidade de dispositivos que podem ser conectados a um barramento. Esta é outra vantagem importante.

As desvantagens do sistema proposto são:

- Preparação do sistema mais complexa e demorada, pois há mais pontos a serem testados (como *jumpers*, módulos e conexões elétricas).
- Maior custo em equipamentos, pois há mais invólucros que precisam ser manufaturados e testados, assim como mais condutores elétricos nas caixas de junção e mais *jumpers* elétricos.
- Um canal monitora somente um dos elementos sensores de cada dispositivo sensor. Se, por exemplo, o elemento sensor B do transmissor PT 01 falhar, e houver uma falha no barramento do canal A, não haverá leitura dos valores na Cabine de Controle Mestre pois cada canal apresenta uma falha. A Figura 34 do Apêndice A apresenta o circuito envolvendo os sensores.

### 6.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS DOIS SISTEMAS

O Quadro 4 compara dados das duas topologias. O Quadro 5 apresenta uma análise das consequências das falhas nos equipamentos dos dois sistemas.

A partir das informações dos Quadros 4 e 5 verifica-se que o sistema com o Sistema Eletrônico Submarino é mais robusto pois, por possuir mais itens redundantes, esse é mais tolerante à falhas. Este sistema também pode ter uma Unidade de Potência ou Unidade Central de Processamento removido sem provocar qualquer perda de funcionalidade do sistema.

Não existe diferença na quantidade de manobras necessárias pelo robô ROV para instalar o *manifold* no Sistema Eletrônico Submarino.



	<b>Com Módulo Eletrônico Submarino tradicional (SEM)</b>	<b>Com o Sistema Eletrônico Submarino (SES)</b>
Quantidade de invólucros (módulos individuais do sistema de controle)	6 (4x SCM, 2x módulos de SFP)	10 (4x SCM, 2x módulos de SFP, 2x UP, 2x UCP)
Quantidade de <i>jumpers</i> elétricos no manifold	13	24
Quantidade de <i>jumpers</i> elétricos por ANM	5	5
Sensores das ANMs (PT, PT/TT)	Analogicos (SIIS 1), com duas partes eletrônicas distintas e redundantes entre si, <i>hardware</i> separados e dois elementos sensores (redundância). Saídas individuais para o sinal.	Analogicos (SIIS 1), com duas partes eletrônicas distintas e redundantes entre si, <i>hardware</i> separados e dois elementos sensores (redundância). Saídas individuais para o sinal.
Sensores do <i>manifold</i> (PT, PT/TT, FT, ZT)	Digitais com comunicação CANopen FT (SIIS 2), com duas partes eletrônicas distintas e redundantes entre si, <i>hardware</i> separado e dois elementos sensores (redundância). Ambas as partes eletrônicas conectadas ao mesmo barramento elétrico.	Digitais com comunicação CANopen FT (SIIS 2), com duas partes eletrônicas distintas e redundantes entre si, <i>hardware</i> separado e dois elementos sensores (redundância). <b>Cada parte eletrônica conectada a um barramento diferente.</b>
Redundância no meio de transmissão dos sensores	Não	Sim
Conexões do Módulo de Interligação	Somente com A ou B	Simultaneamente com A e B
Comunicação entre módulos ou placas internas	<i>Profibus</i>	<i>CANopen HS</i>
Partes eletrônicas redundantes	Sim	Sim
Recuperar uma parte eletrônicas (A ou B) sem interromper o sistema?	Não é possível	É possível

**Quadro 4- Análise comparativa entre os dois sistemas.**

Fonte: Autoria própria.

Em relação à quantidade de dispositivos conectados a uma Unidade Auxiliar ou Módulo Eletrônico Submarino, tem-se os seguintes cenários:

- Módulo de Controle Submarino com dois Módulos Eletrônicos Submarinos: Cada Módulo Eletrônico Submarino (A ou B) fornece até 96 W de potência e, conectados a ele (considerando ser esse o Módulo Eletrônico Submarino conectado ao Módulo de Interligação), estão:
  - 4 PT redundantes, 8 dispositivos *CANopen*;
  - 2 PT/TT redundantes, 4 dispositivos *CANopen*;

- 2 FT redundantes, 4 dispositivos *CANopen*;
- 2 ZT não redundantes, 2 dispositivos *CANopen*;
- Módulo de Controle Submarino com duas Unidades Auxiliares: Cada Unidade Auxiliar (A ou B) fornece até 96 W de potência. Conectados a cada uma estão:
  - 4 PT redundantes, 4 dispositivos *CANopen*;
  - 2 PT/TT redundantes, 2 dispositivos *CANopen*;
  - 2 FT redundantes, 2 dispositivos *CANopen*;
  - 2 ZT não redundantes, 2 dispositivos *CANopen*;

	<b>Com Módulo Eletrônico Submarino tradicional (SEM)</b>	<b>Com o Sistema Eletrônico Submarino (SES)</b>
Falha total em um dos condutores elétricos do cabo umbilical entre superfície e <i>manifold</i>	Perda de um canal. Sem parada na operação. Será necessária parada na operação para reparar o umbilical.	
Falha total nas duas Unidades Auxiliares de um dos Módulos de Controle Submarinos do <i>manifold</i>	Fechamento e perda de controle das válvulas dos módulos conectados a esse Módulo de Controle Submarino. Perda de monitoramento dos sensores do Módulo de Controle de Vazão a ele conectados, e ao Módulo de Interligação se este estiver conectado a esse Módulo de Controle Submarino (SCM). Conectando o Módulo de Interligação ao outro Módulo de Controle de Vazão é reestabelecido o controle, mas necessita de intervenção do ROV.	Fechamento e perda de controle das válvulas dos módulos conectados a esse Módulo de Controle Submarino. Não há perda no monitoramento dos sensores dos módulos, pois estes se comunicam com a UCP. O Módulo de Interligação não está conectado através do Módulo de Controle de Vazão e sim diretamente à Central de Distribuição.
Falha em algum componente do Módulo Eletrônico Submarino/ Sistema Eletrônico Submarino (por exemplo fonte de energia, <i>switch ethernet, modem, controlador</i> )	Não há perda de função pois o sistema é redundante, mas será necessária a parada para a substituição do Módulo de Controle Submarino.	Não há perda de função pois o sistema é redundante e, se o componente não estiver dentro do Módulo de Controle Submarino, é possível recuperar o seu módulo sem qualquer perda de funcionalidade do sistema.
Falha no <i>jumper</i> elétrico que conecta o Módulo de Interligação ao sistema	Perda do monitoramento do Módulo de Interligação.	Não há perda no monitoramento do Módulo de Interligação, pois cada sistema possui seu <i>jumper</i> conectado a seus sensores.

**Quadro 5 – Comparação entre consequências de falhas dos dois sistemas.**

Fonte: Autoria própria.

A disponibilidade do sistema se refere à probabilidade de ocorrer uma parada ou perda de função parcial ou total do sistema, seja devido a um problema ou uma manutenção de rotina.

Em relação a isso, o sistema proposto é completamente redundante dentro de seu escopo. Ao contrário do sistema típico, o sensor de fundo de poço não é redundante, mas ele está fora do escopo de desenvolvimento deste sistema.

Em relação à manutenção, embora o sistema com o Sistema Eletrônico Submarino seja redundante, nem todas suas partes são fisicamente independentes. A disponibilidade do sistema proposto é maior devido à separação de algumas das funções eletrônicas nos módulos Unidade de Processamento Central e Unidade de Potência, que podem ser recuperados à superfície separadamente para manutenção. Entretanto, as Unidades Auxiliares ainda são mantidas dentro dos Módulos de Controle Submarinos e, por isso, precisam ser recuperadas junto com os Módulos de Controle Submarinos para manutenção.

Existem duas possíveis soluções para esta limitação. A primeira é manter as Unidades Auxiliares em invólucros separados e fora do Módulo de Controle Submarino, conectadas a esse via *jumper* elétrico manipulável pelo robô ROV. Com esta solução é possível substituir somente uma Unidade Auxiliar e manter o sistema funcionando. Entretanto, a limitação desta solução é o fato de que se todo o equipamento eletrônico de controle e monitoração fosse removido de dentro do Módulo de Controle Submarino, seria necessário um *jumper* com uma conexão elétrica para cada válvula solenoide, sendo que são aproximadamente 50 válvulas. Não existe atualmente conector de acoplamento submarino para robô ROV qualificado para tal profundidade no mercado.

A outra solução é possuir dois Módulos de Controle Submarinos na Árvore de Natal Molhada, mas isto envolveria mudanças grandes na estrutura da Árvore de Natal Molhada, que já é compacta, e grandes mudanças na parte hidráulica, fugindo assim do escopo deste trabalho.

Desta forma, houve um aumento significativo na disponibilidade do sistema com Sistema Eletrônico Submarino. Este aumento significativo é relevante se for considerado o custo financeiro com a perda de produção devido ao sistema parado.

Sobre o Sistema Eletrônico Submarino apresentado, verifica-se que o mesmo representa um ganho significativo dado a possibilidade de redução do tempo com o sistema parcial ou inteiramente parado, seja por falha ou manutenção.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram apresentados os conceitos básicos de Sistemas de Produção Submarinos e Sistemas de Injeção Submarinos, visando-se conhecer os equipamentos básicos utilizados no controle desses sistemas. Enquanto os Sistemas de Produção Submarinos são conhecidos pela maioria das pessoas, que podem não conhecer bem o processo mas possuem certo entendimento sobre o conceito de extração de petróleo, as técnicas de recuperação artificiais como a injeção de água e gás alternados são desconhecidas pela maioria das pessoas. Este trabalho apresenta esse conceito e outros assuntos também pouco conhecidos, como o problema da formação de hidratos em linhas de produção, nas quais se torna necessária a injeção de químicos para inibi-los ou dissolvê-los.

No primeiro sistema apresentado, que utiliza o Módulo Eletrônico Submarino tradicional, foi apresentada a descrição e funcionamento de um *manifold* submarino de injeção típico do pré-sal brasileiro e, principalmente, seu sistema de controle.

Foi apresentando, então, o conceito de um módulo eletrônico diferente denominado Sistema Eletrônico Submarino, onde separou-se as diferentes funções eletrônicas do Módulo Eletrônico Submarino em diferentes módulos. Este sistema possui um controlador e uma Unidade de Potência centrais (considerando somente um dos sistemas redundantes, A ou B), que são compartilhados por todo os periféricos do sistema. Deste ponto de vista, o sistema é mais eficiente em relação ao uso de seus recursos. Esse sistema é mais robusto pois possui uma quantidade maior de barramentos e dispositivos redundantes, sendo esta a principal vantagem do modelo com o Sistema Eletrônico Submarino.

Esta redundância não é devida simplesmente ao Sistema Eletrônico Submarino, pois é possível ter os mesmos dispositivos e funções redundantes no *manifold* da proposta utilizando um Módulo Eletrônico Submarino. Entretanto, são necessários Módulos Eletrônicos Submarinos adicionais, que por sua vez possuem mais placas de controle e de potência que poderiam, em um projeto mais eficiente, serem substituídas por menos placas compartilhadas, fazendo-se assim uma utilização mais eficiente dos recursos eletrônicos do equipamento.

O gasto maior com o investimento inicial para se ter este sistema mais robusto torna-se insignificante caso o mesmo possa prevenir uma parada de

operação. Ressalta-se que as grandes operadoras brasileiras não costumam investir em redundância no sistema, limitando este quesito à disponibilidade de tecnologia dos fornecedores.

Entretanto, admite-se que as grandes operadoras são conservadoras e não adotam uma nova tecnologia sem que a mesma tenha sua utilização comprovada em outros projetos e exista real necessidade e ganho com a tecnologia. O conceito de Sistema Eletrônico Submarino pode não ser utilizado pelas operadoras nacionais antes de comprovada sua eficácia e confiabilidade em outros projetos.

Por fim, o principal ganho com o sistema proposto é em relação às falhas que o sistema de controle está sujeito, pois é menor a quantidade de falhas que causam parada do sistema. Isto significa uma produção mais eficiente e uma redução nas perdas devido a falhas e manutenção, o que é enormemente valorizado nesta indústria.

## REFERÊNCIAS

API. **American Petroleum Institute standard 17A: recommended practice for design and operation of subsea production systems**. 4. ed. Washington, 2006. Disponível em: <<https://connect.ihs.com>>. Acesso em: 25 jun. 2014.

APETRO. **Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas**. Disponível em: <[http://www.apetro.pt/index.php?option=com\\_content&task=view&id=86&Itemid=53](http://www.apetro.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=86&Itemid=53)>. Acesso em: 1º mai. 2014.

ANP. **Agência Nacional de Petróleo**. Portaria ANP n° 9, de 9 de janeiro de 2000. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder\\_portarias\\_anp/portarias\\_anp\\_tec/2000/janeiro/panp%209%20-%202000.xml?f=templates\\$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2000/janeiro/panp%209%20-%202000.xml?f=templates$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu)>. Acesso em: 1º nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2011. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=57887>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

AUGUSTO, Luiz. **Rede de computadores**. Disponível em: <<http://sites.google.com/site/pedrocorreialopesfilho/redes.ppt>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

BAI, Yong; BAI, Qiang. **Subsea engineering handbook**. Burlington: Elsevier, 2010.

BORDER, David; KOLLA, Sri; MAYER, Erik. **Fieldbus networks for control system implementations**. 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1247936>>. Acesso em: 2 nov. 14.

CASSIOLATO, César. **Dimensionamento da quantidade de equipamentos em uma rede Profibus-PA**. 2010. Disponível em: <<http://www.profibus.org.br/news/marco2011/news.php?dentro=6>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Tecnologia Profibus**. 2012. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/tecnologia-profibus>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

CONTROL SYSTEMS BROCHURE, **AkerSolutions subsea control systems brochure**. Disponível em:

<[http://www.akersolutions.com/Documents/Subsea/Brochures/Subsea\\_controls\\_systems\\_low%20res.pdf](http://www.akersolutions.com/Documents/Subsea/Brochures/Subsea_controls_systems_low%20res.pdf)>. Acesso em: 1º nov. 14.

COVINGTON, Kimberly C; COLLIE, John T. **Selection of hydrate suppression methods for gasstreams**. 2006. Disponível em:

<<http://www.bre.com/portals/0/technicalarticles/Selection%20of%20Hydrate%20Suppression%20Methods%20for%20Gas%20Streams.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

DIÁRIO DO PRÉ-SAL. **Sistema de produção único**. Disponível em:

<<http://diariodopresal.files.wordpress.com/2009/01/plataformas-sistema-de-producao-peq.jpg>>. Acesso em: 13 mai. 2014.

DIGITRON. **Catálogo de controles e instrumentação Digitron e Digitron+ da Siemens® de julho de 2013**. Disponível em:

<<http://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/industries-utilities/oil-gas/applications/subsea/downloads/DigiTRON-e-03-2013.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

FELSER, Max. **The Fieldbus standards: history and structures**. Disponível em

<<http://felser.ch/download/FE-TR-0205.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2014.

GARCIA, J. **A completção de poços no mar**. v.3, Outubro 1997. Disponível em:

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAejlMAB/apostila-completacao-pocos-no-mar>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

IEC. **IEC 61158-2 digital data communications for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems – part 2: physical layer specification and service definition**. 2003. Disponível em: <<https://connect.ihc.com>>. Acesso em: 10 out. 2014.

ITU. International Telecommunication Union. **Recommendation x.200: data networks and open system communication**. 1994. Disponível em:

<<http://www.itu.int/rec/T-REC-X.200-199407-I/en>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

MAZEN, Barnawi T. **A simulation study to verify stone's simultaneous water and gas injection performance in 5-spot pattern**. Dissertação de Mestrado em Ciência. Universidade de Texas. 2008. Disponível em:

<<https://repository.tamu.edu/handle/1969.1/85949>>. Acesso em: 1º nov. 2014.

MORAES, Daniel C. **Análise do tempo de atuação em redes digitais de controle Profibus DP e PA**. 2005. Disponível em: <[http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG2005\\_1/danielcorreamorae.pdf](http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG2005_1/danielcorreamorae.pdf)>. Acesso em: 3 nov. 14.

MORAIS, Helena L. **Application of WAG and SWAG injection techniques in norne e-segment**. 2012. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:589680/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 1º nov. 2014.

NATIONAL. National Instruments. **Comparison of FOUNDATION Fieldbus and traditional systems**. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/2728/en/>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **The basics of CANopen**. 2013. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/14162/en/>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **CAN physical layer standards: high-speed vs. low-speed/fault-tolerant CAN**. 2002. Disponível em: <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/84210794086E9C0886256C1C006BE6AE>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

NÓBREGA, Geraldine A. S. da. **Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção**. 2001. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/CapitalHumano/Arquivos/PRH14/Geraldine-Angelica-Silva-da-Nobrega\\_PRH14\\_UFRN\\_G.PDF](http://www.anp.gov.br/CapitalHumano/Arquivos/PRH14/Geraldine-Angelica-Silva-da-Nobrega_PRH14_UFRN_G.PDF)>. Acesso em: 2 nov. 2014.

PETROBRAS. **Pré-sal**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>. Acesso em: 6 mai. 2014.

PETRONOTICIAS. **FMC technologies**. Disponível em: <<http://www.petronoticias.com.br/wp-content/uploads/2014/09/FMC-Technologies-Brasil.jpg>>. Acesso em: 3 out. 2014.

PETROWIKI. **Hydrate problems in production**. Disponível em: <[http://petrowiki.org/Hydrate\\_problems\\_in\\_production](http://petrowiki.org/Hydrate_problems_in_production)>. Acesso em: 2 nov. 2014.

PROFIBUS. **Descrição técnica Profibus**. 2012. Disponível em: <<http://www.profibus.org.br>>. Acesso em: 10 set. 2014.



PROMINP. **Conteúdo Local**. Disponível em:  
<[http://www.prominp.com.br/prominp/pt\\_br/conteudo/conteudo-local.htm](http://www.prominp.com.br/prominp/pt_br/conteudo/conteudo-local.htm)>. Acesso em: 6 mai. 2014.

SUBSEA WORLD. **Ocean works delivers new SIIM variant to VENUS observatory (Canada)**. Disponível em:  
<<http://subseaworldnews.com/2012/08/16/oceanworks-delivers-new-siim-variant-to-venus-observatory-canada/>>. Acesso em: 4 nov. 2014.

SEATRONICS. **J2 subsea hydraulic power unit**. Disponível em:  
<<http://www.seatronics-group.com/sales/agency-sales-22/j2-engineering-services-66/j2-engineering-hydraulic-power-unit-653>>. Acesso em: 5 jul. 2014.

SEED. **What is EOR, and how it works?** Disponível em:  
<[https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight\\_id=313&c\\_id=4](https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=313&c_id=4)>. Acesso em: 1º nov. 2014.

SIIS. **Subsea instrumentation interface standardization key facts**. 2011.  
Disponível em: <[http://www.sis-jip.com/publicdocs/SIIS\\_Key\\_Fact\\_Sheet\\_Dec11.pdf](http://www.sis-jip.com/publicdocs/SIIS_Key_Fact_Sheet_Dec11.pdf)>. Acesso em: 3 nov. 2014.

SOUSA, Lindeberg B. de. **Redes de computadores: dados, voz e imagem**. 1 ed. São Paulo: Editora Érica, 1999.

TB PETROLEUM. **FMC technologies hits record of 400 subsea trees manufactured in Brazil**. Disponível em: <<http://tbpetroleum.com.br/news/fmc-technologies-hits-record-of-400-subsea-trees-manufactured-in-brazil/>>. Acesso em: 4 nov. 2014.

TECPETRO. **Equipamentos submarinos**. Disponível em:  
<<http://tecpetro.wordpress.com/2014/05/11/equipamentos-submarinos/>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

TELEDYNE. **Teledyne oil & gas**. Disponível em:  
<<http://teledyneoilandgas.com/product/active-flying-leads-af/#>>. Acesso em: 10 out. 2014.

TORRES, Gabriel. **Redes de computadores: curso completo**. 1 ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

TZIMAS, E. **Enhanced oil recovery using carbon dioxide in the european energy system**. 2005. Disponível em: <[http://science.uwaterloo.ca/~mauriced/earth691-duss/CO2\\_General%20CO2%20Sequestration%20materilas/CO2\\_EOR\\_Misciblein%20Europe21895EN.pdf](http://science.uwaterloo.ca/~mauriced/earth691-duss/CO2_General%20CO2%20Sequestration%20materilas/CO2_EOR_Misciblein%20Europe21895EN.pdf)>. Acesso em: 2 nov. 2014.

UMBILICALS BROCHURE. **Keep your field flowing**. Disponível em: <[http://www.akersolutions.com/Documents/Subsea/Brochures/Umbilicals\\_brochure\\_low%20res.pdf](http://www.akersolutions.com/Documents/Subsea/Brochures/Umbilicals_brochure_low%20res.pdf)>. Acesso em: 1º nov. 14.

VTC. **Tutorial – introduction to Fieldbus**. Disponível em: <<http://verwertraining.com/tutorials/tutorial-introduction-to-fieldbus-and-profibus/>>. Acesso em: 2 nov. 14.

WARWICK. **Warwick Control Technologies** ©. Disponível em: <<http://www.warwickcontrol.com/support/faqcanopen.php>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

## APÊNDICE A – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DOS PRINCIPAIS SISTEMAS

O Apêndice A contém os diagramas esquemáticos detalhados dos principais sistemas deste trabalho.

A Figura 33 apresenta o diagrama esquemático das ligações entre os principais equipamentos do Sistema de Controle de Superfície, sendo eles a Cabine Mestre de Controle e seus componentes, a Unidade de Suprimento Hidráulico, Unidade de Injeção Química e a Unidade de Potência Elétrica.

A Figura 34 apresenta de maneira detalhada as conexões entre os módulos e dispositivos do *manifold* proposto com o Sistema Eletrônico Submarino. Este mesmo diagrama esquemático é mostrado de maneira simplificada na Figura 29.

A Figura 35 apresenta de maneira detalhada as conexões elétricas entre os módulos e os dispositivos das Árvores de Natal Molhada do *manifold* com o Sistema Eletrônico Submarino.

As Figuras 33, 34 e 35 foram explicadas no Capítulo 4 e 5 deste trabalho.

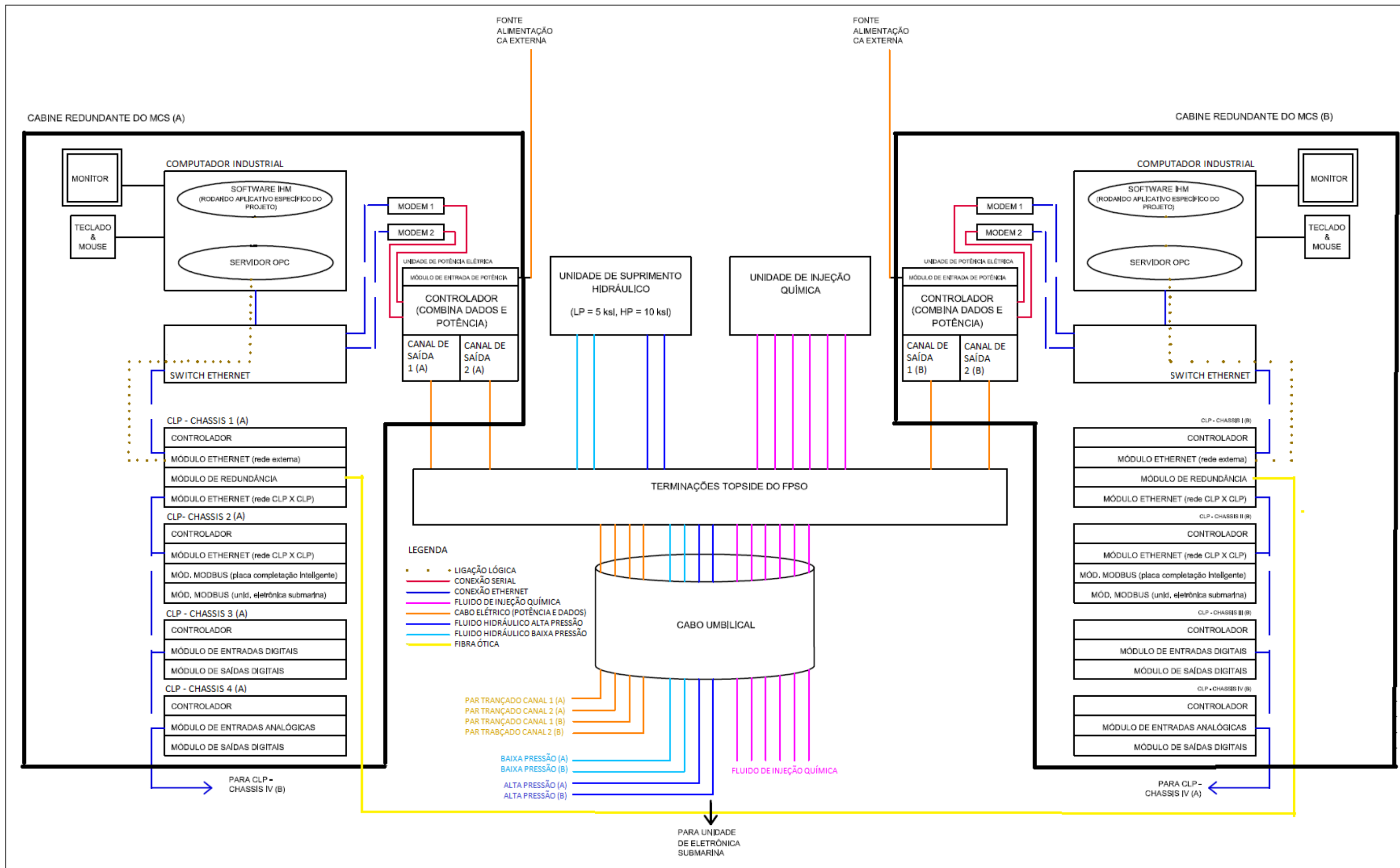


Figura 33 – Diagrama do Sistema de Controle de Superfície.  
 Fonte: Autoria própria.

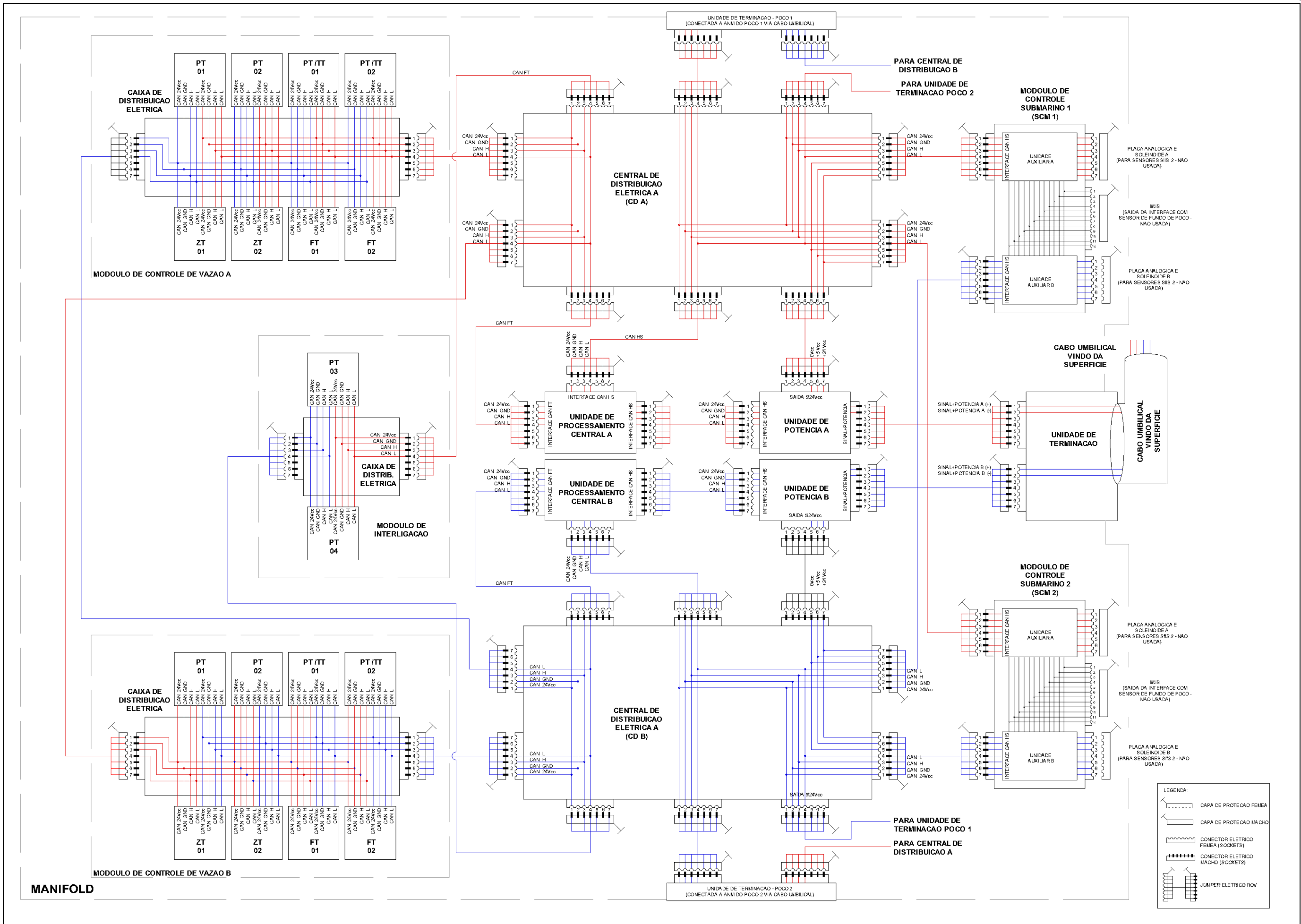


Figura 34 – Diagrama do manifold proposto com o Sistema Eletrônico Submarino.  
 Fonte: Autoria própria.

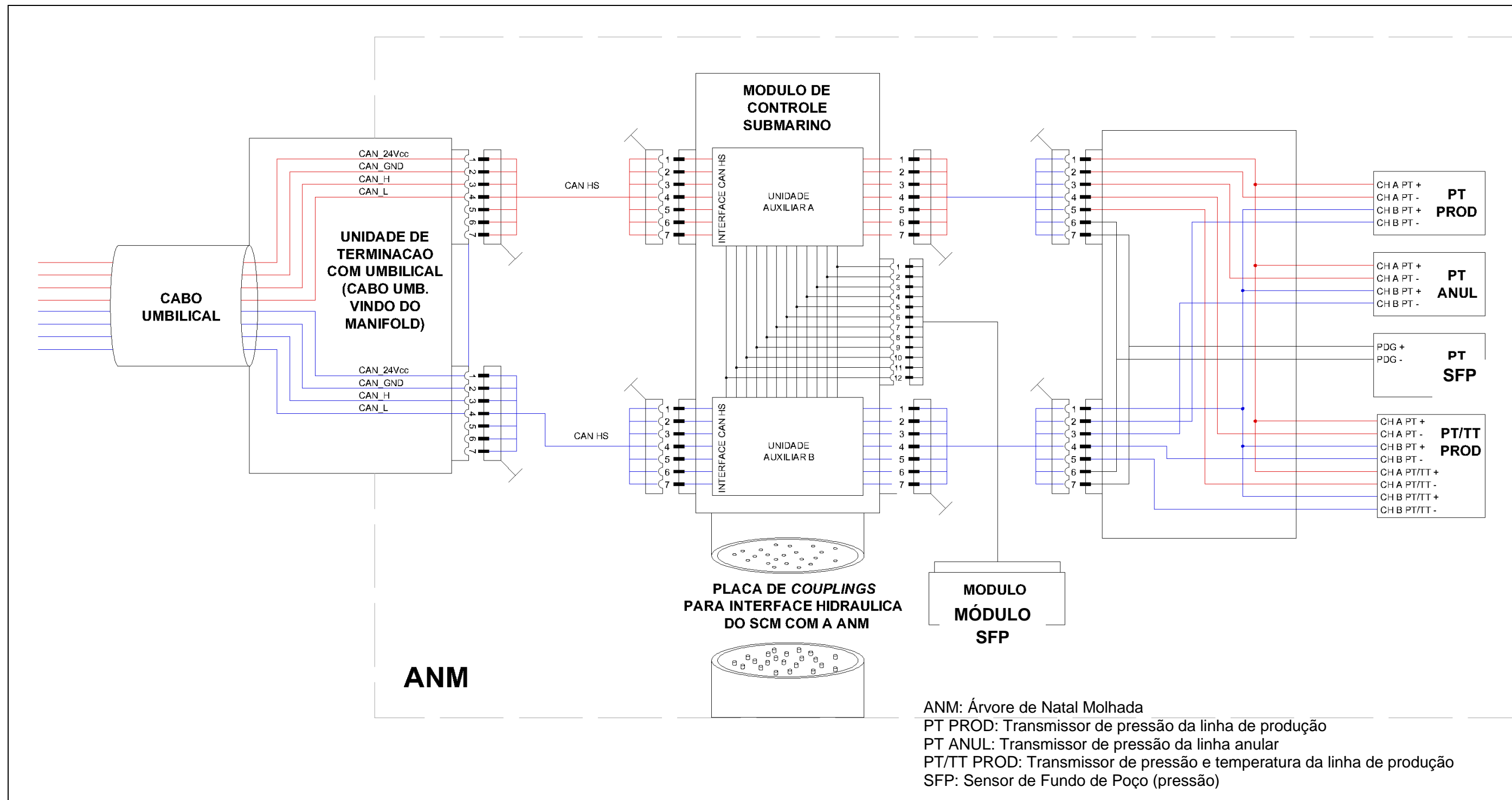


Figura 35 - Diagrama da Árvore de Nata Molhada para a topologia proposta.  
Fonte: Autoria própria.