



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

DANIEL CARLOS PEREIRA

FOUNDATION FIELDBUS E ESTUDO DE CASO DE PLANTA DE  
INSTRUMENTAÇÃO SMAR

Campina Grande – PB  
Julho de 2014

DANIEL CARLOS PEREIRA

FOUNDATION FIELDBUS E ESTUDO DE CASO DE PLANTA DE  
INSTRUMENTAÇÃO SMAR

*Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática da Universidade  
Federal de Campina Grande como  
requisitos necessários para a obtenção  
do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Rede Industrial Foundation Fieldbus

**Orientador**

Professor José Sergio da Rocha Neto, D.Sc.

Campina Grande – PB  
Julho de 2014

DANIEL CARLOS PEREIRA

FOUNDATION FIELDBUS E ESTUDO DE CASO DE PLANTA DE  
INSTRUMENTAÇÃO SMAR

*Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática da Universidade  
Federal de Campina Grande como  
requisitos necessários para a obtenção  
do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Rede Industrial Foundation Fieldbus

Aprovado em 03/07/2014

**Professor José Sergio da Rocha Neto, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

**Professor George Acioli Junior, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador, UFCG

Campina Grande – PB  
Julho de 2014

Dedico este trabalho à Deus, à minha família e ao Departamento de Engenharia Elétrica.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos irão primordialmente à Deus, verbo da vida e fonte de amor incondicional, e em seguida, à minha família, em especial, aos meus pais pelo carinho e apoio para enfrentar este desafio árduo de curso exigente e de alto nível, porém gratificante e prazeroso.

Agradeço aos amigos, que na ausência dos familiares, tornaram-se meus irmãos, pessoas que tenho o mais absoluto apreço.

Agradecimento ao meu orientador pela oportunidade de trabalhar sobre seu cajado de grande sabedoria e dedicação.

Agradecimento em especial ao departamento pelo esforço e dedicação para oferecer um curso de qualidade, e pelo acolhimento e atendimento carinhoso e fraternal.

*“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina. ”*

**Cora Coralina**

## RESUMO

O presente trabalho destina-se a analisar o padrão Foundation Fieldbus, a partir do protocolo de rede da organização Fieldbus Foundation para instalação, configuração, monitoramento e controle de processos industriais. Ainda serão relatadas as vantagens de sua utilização em relação aos demais padrões já consolidados no mercado. Inicialmente é realizada uma revisão bibliográfica explanando os aspectos histórico, construtivo e funcional da tecnologia Fieldbus. Seguindo, apresenta-se um estudo aprofundado da estrutura física da rede e seus componentes essenciais, e ainda dos sistemas de configuração e monitoramento. Finalizando o trabalho, é exposta uma planta de instrumentação SMAR com implementação da rede Foundation Fieldbus para monitoramento e controle do processo a ela atrelado e indicações para futura pesquisa e projetos.

**Palavras-chave:** Foundation Fieldbus, Protocolo de Rede, Configuração e Monitoramento.

## **ABSTRACT**

This paper is intended to analyze the standard Foundation Fieldbus, from network protocol organization Foundation Fieldbus installation, configuration, monitoring and control of industrial processes. Still be reported the advantages of its use in relation to other standards already established in the market. Initially it is a literature review explaining the historical aspects, constructive and functional fieldbus technology. Following, we present a detailed study of the physical structure of the network and its essential components, and even systems configuration and monitoring. Finishing work, it's exposed a plant instrumentation SMAR with Foundation Fieldbus network implementation for monitoring and controlling of process to her trailer and directions for future research and projects.

**Keywords:** Foundation Fieldbus, Protocol Network, Configuration and Monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sala de Controle com Eletrônica Estática. ....	1
Figura 2: Sala de Controle Moderna. ....	1
Figura 3: Logotipo da Fieldbus Foundation.....	4
Figura 4: Camadas de Rede OSI e FF .....	5
Figura 5: Padrão Foundation Fieldbus .....	6
Figura 6: Sinal da sub rede H1 .....	7
Figura 7: Forma de Onda da Rede H1 .....	7
Figura 8: Visão da Rede FF.....	8
Figura 9: Migração da Estratégia de Controle .....	8
Figura 10: Segurança Intrínseca.....	9
Figura 11: Controle Flexível.....	9
Figura 12: Confiabilidade de Informações .....	10
Figura 13: Interoperabilidade .....	11
Figura 14: Comparativo de Instalação das Redes 4-20mA e FF .....	11
Figura 15: Camada Física.....	13
Figura 16: Distância Máxima na Rede FF.....	14
Figura 17: Estrutura de Rede FF.....	14
Figura 18: Linking Device .....	16
Figura 19: Redundância de Rede .....	17
Figura 20: Redundância de Equipamento .....	17
Figura 21: Redundância de Fonte .....	18
Figura 22: Codificação Manchester Bipolar L.....	19
Figura 23: Fonte de Alimentação e Condicionador .....	21
Figura 24: Terminador .....	22
Figura 25: Dispositivo de Campo Virtual.....	25
Figura 26: Virtual Communication Relationships.....	26
Figura 27: Comunicação Escalonada .....	26
Figura 28: Comunicação Não Escalonada .....	27
Figura 29: Blocos Básicos .....	28

Figura 30: Loop de uma Rede FF .....	29
Figura 31: Interoperabilidade .....	30
Figura 32: Device Description.....	31
Figura 33: DD Incrementais .....	31
Figura 34: Description Device Service.....	32
Figura 35: Biblioteca DD de Fornecedores Diferentes.....	32
Figura 36: Virtual Field Device .....	33
Figura 37: Tipos de blocos de função .....	33
Figura 38: Flexible Function Block .....	35
Figura 39: Blocos de Funções.....	36
Figura 40: Modelo da Planta de Instrumentação .....	37
Figura 41: Fonte SMAR DF52 .....	39
Figura 42: Impedância Ativa SMAR DF53 .....	39
Figura 43: Terminador BT302.....	40
Figura 44: Transmissor de Pressão Diferencial LD302.....	40
Figura 45: Transmissor de Temperatura TT302.....	40
Figura 46: Posicionador FY302.....	41
Figura 47: Linkig Device 1757-FFLD .....	41
Figura 48: Topologia da Rede FF .....	42
Figura 49: Tela Inicial do RSFieldbus.....	42
Figura 50: Controle em Cascata.....	58
Figura 51: Controle Antecipativo .....	59

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	V
<b>RESUMO</b> .....	VII
<b>ABSTRACT</b> .....	VIII
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	IX
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	2
<b>1.1.1. Objetivo Geral</b> .....	2
<b>1.1.2. Objetivo Específico</b> .....	2
<b>1.1.3. Estrutura do Trabalho</b> .....	2
<b>2. TECNOLOGIA FOUNDATION FIELDBUS</b> .....	3
<b>2.1. Fieldbus Foundation</b> .....	4
<b>2.2. Processo Histórico</b> .....	4
<b>2.3. Arquitetura Fieldbus</b> .....	5
<b>2.4. Vantagens</b> .....	8
<b>2.4.1. Interoperabilidade</b> .....	10
<b>2.4.2. Planejamento e Instalação</b> .....	11
<b>2.4.3. Operação</b> .....	11
<b>2.4.4. Manutenção</b> .....	12
<b>3. PROTOCOLOS DE REDE</b> .....	12
<b>3.1. Camada Física</b> .....	12
<b>3.1.1. Sub Rede HSE</b> .....	14
<b>3.1.1.1. Host Devices</b> .....	15
<b>3.1.1.2. Dispositivos de Campo HSE</b> .....	15
<b>3.1.1.3. Linking Device</b> .....	15
<b>3.1.1.4. Dispositivos de I/O</b> .....	16
<b>3.1.1.5. Redundância</b> .....	16
<b>3.1.2. Sub Rede H1</b> .....	18
<b>3.1.3. Sub Rede H2</b> .....	20
<b>3.1.4. Topologias de Rede</b> .....	20

3.1.4.1.	Elementos de Rede.....	21
3.2.	Camada de Enlace.....	22
3.2.1.	Dispositivos Virtuais de Rede.....	24
3.2.2.	Comunicação.....	25
3.2.3.	Transmissão de Dados.....	25
3.3.	Camada de Aplicação.....	27
3.3.1.	Sistema de Configuração.....	29
3.3.2.	Sistema de Gerenciamento.....	30
3.3.3.	Descrição de Dispositivos.....	30
3.3.3.1.	Serviço de Descrição de Dispositivo.....	32
3.3.3.2.	Capability Files.....	33
3.3.4.	Modelo de Blocos.....	33
3.3.4.1.	Bloco de Resolução.....	35
3.3.4.2.	Bloco Transdutor.....	36
3.3.4.3.	Bloco de Funções.....	36
4.	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	37
4.1.	Planta SMAR.....	37
4.1.1.	Descrição de Funcionamento.....	38
4.2.	Instrumentação.....	38
4.2.1.	Camada Física.....	38
4.2.1.1.	Dispositivos e Elementos de Rede.....	38
4.2.1.2.	Topologia.....	41
4.2.2.	Camada de Aplicação.....	42
4.2.2.1.	Configuração.....	42
4.2.2.2.	Monitoramento.....	57
4.3.	Sugestões para Futuros Trabalhos.....	57
4.3.1.	Controle por Realimentação Negativa (Temperatura).....	58
4.3.2.	Controle em Cascata (Temperatura com Vazão de Água Fria).....	58
4.3.3.	Controle Antecipativo no Tanque de Aquecimento.....	59
5.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	60
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de redes industriais está relacionado com o advento e evolução de duas outras áreas, a instrumentação e controle/automação de processos industriais. Primordialmente, os operadores monitoravam as malhas de controle vistoriando o processo, realizando as leituras das variáveis desejadas e atuando sobre as válvulas. Com o aumento da complexidade dos processos industriais e, conseqüentemente, das variáveis manipuláveis em cada malha de controle, necessitou do monitoramento mais ágil, eficaz, automático e centralizado das plantas industriais resultando no surgimento de instrumentos pneumáticos e da sala de controle de processo. As informações relevantes dos sinais dos elementos de medição eram enviadas para a sala de controle.

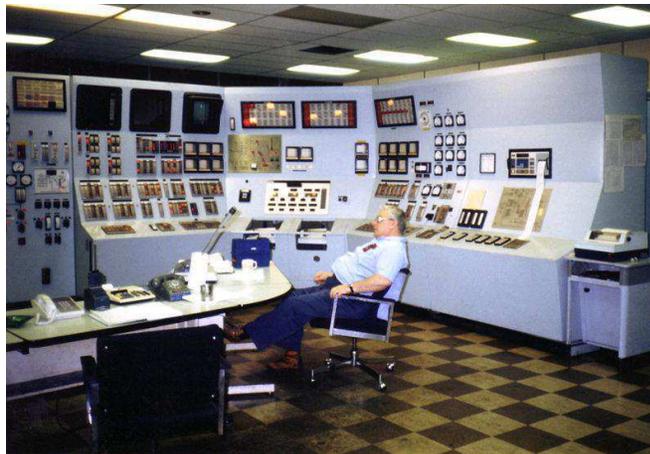


Figura 1: Sala de Controle com Eletrônica Estática (Instrumentação Industrial – Wikipedia)



Figura 2: Sala de Controle Moderna (Instrumentação Industrial – Wikipedia)

## **1.1. Objetivos**

A seguir, serão descritos os objetivos deste trabalho, tanto em caráter geral como específico.

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Realizar uma revisão sobre os conceitos básicos do padrão Foundation Fieldbus, assim como o protocolo, as topologias, os aspectos construtivos, a instalação e configuração de rede. Ainda designa-se expor os benefícios da mesma em relação a padrões equivalentes atuais no mercado, enumerar, classificar e descrever os dispositivos essenciais do padrão.

### **1.1.2. Objetivo Específico**

Fazer um estudo de caso de uma planta de instrumentação SMAR, com variáveis de nível, temperatura e pressão. Serão levados em consideração os seguintes aspectos para o estudo: os elementos constitutivos e a dinâmica e malha de controle do processo, os dispositivos de rede e os sensores de medição e a estrutura da rede vinculada à planta.

### **1.1.3. Estrutura do Trabalho**

A abordagem do tema no capítulo 2 iniciará com a descrição da tecnologia Foundation Fieldbus descrendo sobre o organismo de padronização, o histórico evolutivo, padrão elaborado pela organização responsável. No capítulo 3 serão apresentadas as especificações dos protocolos de redes fixados para o padrão, assim como as camadas apresentadas em seu modelo de comunicação, os dispositivos e topologias da rede, finalizando com os sistemas de configuração e gerenciamento das informações dos processos e parâmetros dos dispositivos.

O capítulo 4 apresenta um estudo de caso de uma planta de instrumentação SMAR com variáveis de nível, temperatura e pressão que apresenta uma rede Fieldbus básica. Primeiramente é exposto o modelo do processo da planta, continuando com a estrutura da rede conjuntamente com os sensores de medição e os dispositivos de comunicação instalados na

planta. O capítulo é finalizado com a configuração realizada dos dispositivos de gerenciamento dos parâmetros e da leitura das variáveis locais. Ainda é sugerido projetos futuros acerca do padrão de rede juntamente com a planta em questão.

As considerações finais são realizadas no capítulo 6 abordado que foi apresentado e por fim, têm-se a bibliografia e fontes utilizadas para a pesquisa.

## **2. TECNOLOGIA FOUNDATION FIELDBUS**

A tecnologia Foundation Fieldbus (FF) foi desenvolvida para ser usada em aplicações de automação de processos. Diferente de qualquer outro protocolo de comunicação, a tecnologia Fieldbus Foundation foi projetada para resolver aplicações de controle de processo, em vez de transferir dados apenas em uma camada digital.

A especificação suporta dispositivos de campo bus-powered, bem como permite a aplicação em áreas de risco. A organização Fieldbus Foundation pretendeu estabelecer um padrão internacional de barramento de campo interoperáveis, ou seja, é um padrão de barramento aberto que permite dispositivos de diferentes fabricantes de ser integrados num único sistema e, se necessário, intercambiadas.

Fieldbus é um termo genérico que descreve uma rede comunicação utilizada para interligar dispositivos substituindo o padrão 4-20mA. A rede é serial, digital, bidirecional e multidrop que interliga equipamentos de campo, tais como sensores, atuadores e os controladores. A FF é uma rede de área local (LAN) usada tanto em processos como em automação da manufatura com capacidade embutida para distribuir o controle em toda a rede. O protocolo Fieldbus foi desenvolvido baseado no padrão ISO/OSI, muito embora não apresente explicitamente todos os níveis, pode-se destacar três camadas: uma camada física, uma camada de comunicação ou pilha de comunicação e a camada de aplicação do usuário.

Os objetivos essenciais da tecnologia Fieldbus Foundation são reduzir os custos de instalação e economizar tempo devido ao planejamento simplificado, bem como melhorar a confiabilidade do sistema operacional devido a recursos adicionais de desempenho.

## 2.1. Fieldbus Foundation

A Fieldbus Foundation é uma organização independente sem fins lucrativos que visa o desenvolvimento e a manutenção do protocolo uniforme a nível de automação, o Foundation Fieldbus. Os membros incluem os usuários e fabricantes de dispositivos de campo e sistemas de automação. O Fieldbus FOUNDATION incorpora diversas oficinas que são responsáveis, entre outros, para suporte técnico, marketing e apoio dos membros. A Fieldbus Foundation define a especificação e configuração, realiza o teste de conformidade e certifica produtos que estão de acordo com o padrão. O objetivo da Fieldbus Foundation é ajudar a criar produtos que utilizam uma rede industrial robusta com base nas normas existentes e outras tecnologias comprovadas e padronizar o uso dessas fontes.



Figura 3: Logotipo da Fieldbus Foundation ([www.fieldbus.org](http://www.fieldbus.org))

## 2.2. Processo Histórico

O controle de dispositivos de campo evoluiu com decorrer do tempo pela necessidade de ter uma produção mais ágil e eficiente. Por volta dos anos de 1960 surgiu o padrão analógico 4-20mA para controle de dispositivos de campo. O desenvolvimento de processadores digitais possibilitou a utilização de computadores no monitoramento e controle de processos de um ponto central. Na década de 80 foram desenvolvidos os sensores inteligentes onde são foi utilizado a tecnologia digital.

A partir de todo esse ambiente surge a tentativa de otimizar e padronizar os sistemas de supervisão e controle de processos. Ainda na década de 80, um grupo formado pela ISA (Instrument Society of America), pelo IEC (International Electrotechnical Commission), Profibus (German National Standard) e a FIP (French national standard) decidiram definir um padrão no comitê IEC/ISA SP50 Fieldbus. O padrão a ser desenvolvido deveria integrar toda a

gama de instrumentos de controle prover uma interface para operar vários dispositivos simultaneamente. O trabalho foi desenvolvido de uma forma bastante lenta devido a diversidade de ideias das companhias que gostariam de ter as especificações dos seus produtos incluídos no padrão. Em 1992 dois grandes grupos o ISP (Interoperable Systems Project) e a WorldFIP (Factory Instrumentation Protocol) se interessam pela ideia. Em setembro de 1994 as os dois juntos formam Fieldbus Foundation e agilizam o desenvolvimento do padrão.

### 2.3. Arquitetura Fieldbus

O padrão FF usa como modelo o protocolo OSI da ISO. No caso da rede FF, algumas camadas existentes no modelo OSI são omitidas deixando-as invisíveis para o usuário. A arquitetura e terminologia consistente com a IEC TC65 WG6 Function Block.

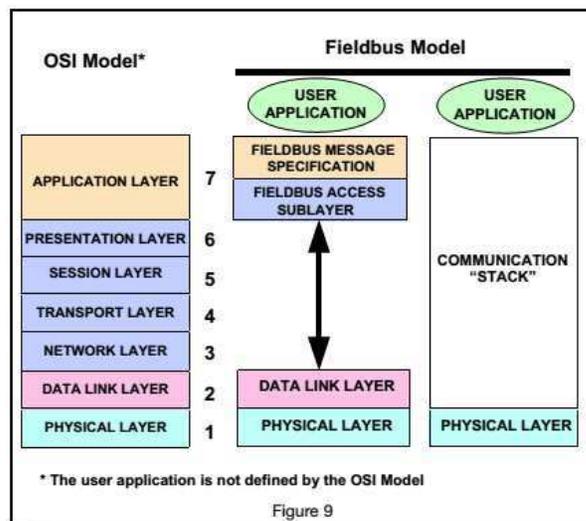


Figura 4: Camadas de Rede OSI e FF (Technical Overview – Fieldbus Foundation)

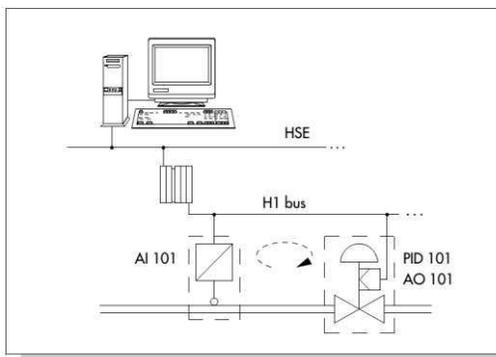
A pilha de comunicação executa os serviços necessários para a interface da camada de usuário para a camada física. A camada física recebe mensagens da pilha de comunicação e converte para sinais elétricos e vice-versa. Esta camada está dividida em dois protocolos chamados de H1 e HSE. A interligação desses dois protocolos é feita através de um equipamento conhecido como bridge. O meio físico H1 é a rede de comunicação dos instrumentos de campo. A velocidade de comunicação da rede H1 é de 31.25 Kbps. Os elementos do nível H1 são:

- Fonte de Energia DC;
- Equipamentos de Campo;
- Terminadores;
- Interface Fieldbus (Bridge);
- Cabos;
- Caixas de junção e distribuição;
- Repetidores, Acopladores, Barreiras.

O HSE (High Speed Ethernet ou Ethernet de Alta Velocidade) define o meio de comunicação via rede Ethernet. Tipicamente possui velocidade de 100 Mbps ou superior. A rede HSE possibilita o envio de informações da rede H1 para sistemas de supervisão e engenharia. Os elementos da rede FF no nível HSE são:

- Estações de Trabalho;
- Linking Devices, Bridges e Gateways;

Os linking devices e os bridges conectam redes FF com velocidades e meios físico diferentes, ou seja, conectam rede H1 e HSE. Gateways conectam à rede FF a outros tipos de protocolos (exemplo Modbus).



**Figura 5: Padrão Foundation Fieldbus** (Technical Information – Foundation Fieldbus Part 4: Communication – Samson)

A camada de usuário fornece a interface de interação do usuário com o sistema. A camada de usuário usa a descrição do dispositivo para informar ao sistema hospedeiro sobre as capacidades do dispositivo. A camada de usuário define blocos e objetos que representam as funções e os dados disponíveis em um dispositivo.

O sinal na sub rede H1 é caracterizado por uma corrente de  $\pm 10\text{mA}$  (transmissão) a uma taxa de transferência de dados de  $31,25\text{kbps}$  sobre uma carga equivalente de  $50\text{ohms}$  referente a duas impedâncias de  $100\text{ohms}$  cada localizadas nas extremidades da rede, gerando uma modulação de  $0,75$  à  $1\text{V}$  (Recepção) pico a pico sobre o sinal da fonte de alimentação. A impedância previne que a fonte de alimentação DC cause curto-circuito no sinal AC de comunicação e a reflexão do mesmo quando chega nas extremidades do cabo. O valor da tensão da fonte de alimentação pode variar de  $9$  a  $32\text{V}$ .

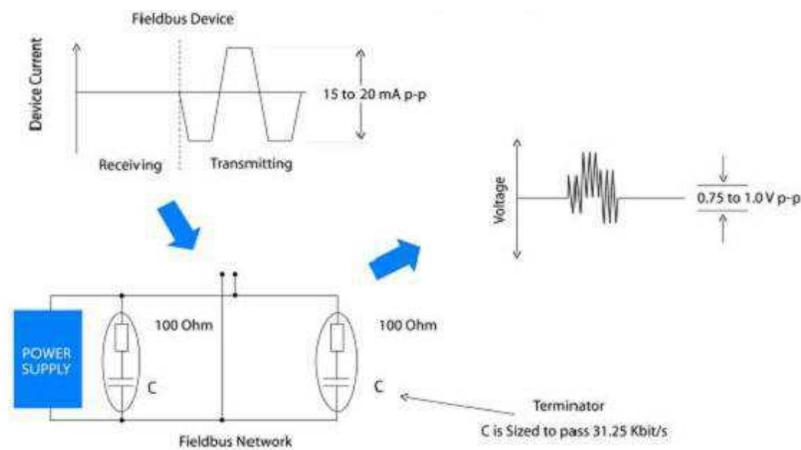


Figura 6: Sinal da sub rede H1 (Acervo Fieldbus Foundation)

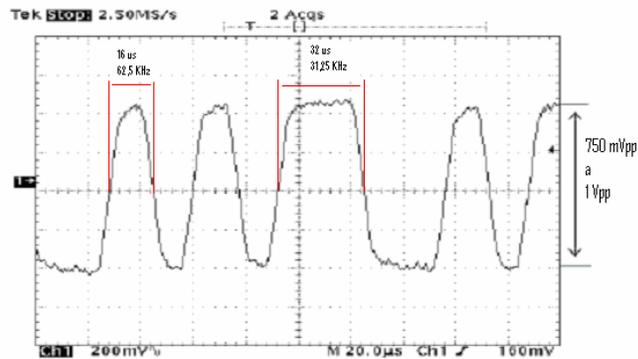


Figura 7: Forma de Onda da Rede H1 (Acervo Fieldbus Foundation)

## 2.4. Vantagens

Uma das grandes revoluções da rede FF foi estender a visão do processo até o instrumento e não até o último elemento inteligente então existente.

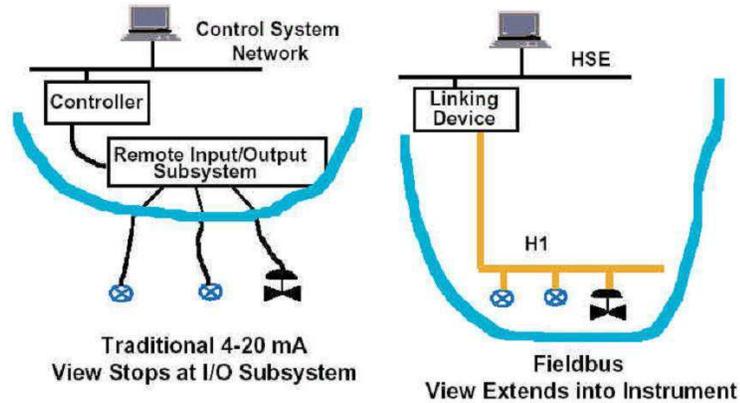


Figura 8: Visão da Rede FF (Acervvo SMAR)

A outra revolução da rede FF foi permitir a migração das estratégias de controle, antes representado por uma remota ou CLP para o elemento de campo (Field Control System – FCS) representados pelos transmissores de temperatura, pressão, etc. e pelos atuadores em sua maior parte válvulas de controle. Isto irá permitir que dois ou mais instrumentos estabeleçam malhas de controle, que uma vez configuradas remotamente irão operar de forma completamente independente do controlador externo. Estas estratégias de controle constituem os chamados blocos de controle.

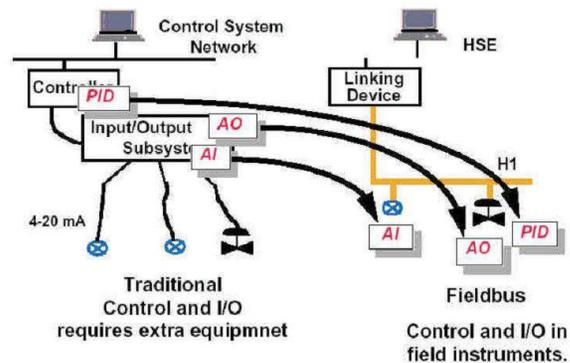


Figura 9: Migração da Estratégia de Controle (Acervvo SMAR)

A rede possui também uma segurança intrínseca presentes nos repetidores e uma flexibilidade no controle dos processos.

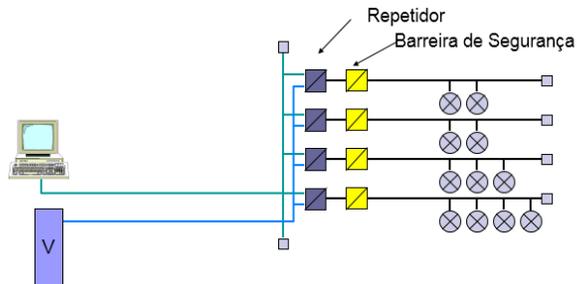


Figura 10: Segurança Intrínseca (Fonte: Acervvo SMAR)

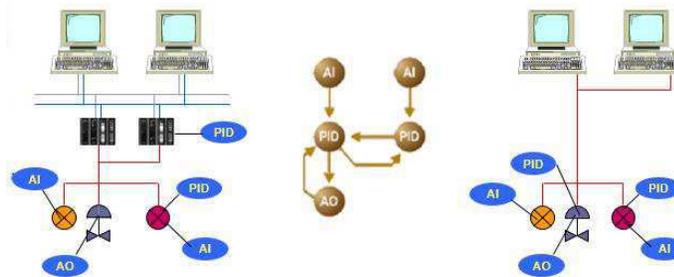


Figura 11: Controle Flexível (Fonte: Acervvo SMAR)

A rede FF usa blocos funcionais, que são funções de automação padronizados e que podem ser processadas pelos dispositivos de chão de fábrica, para implementar a estratégia de controle. Assim o controle orientado por blocos de funções permite a distribuição de funções em dispositivos de campo de diferentes fabricantes de forma integrada, reduzindo a quantidade de I/O e controladores, incluindo os arquivos do cartão, armários e fontes de alimentação. Outro ponto positivo é a integridade e confiabilidade das informações trafegadas na rede devido ao aumento de parâmetros usados para cada informação. O próprio software pode ser usado para investigar detalhes dos status ruins. Assim providencia automaticamente a ação de segurança em caso de falhas na saída do transmissor caso ocorra falha de sensor, comunicação, etc. Ainda assegura inicialização em cascata com transferência suave e contra a saturação na rede.

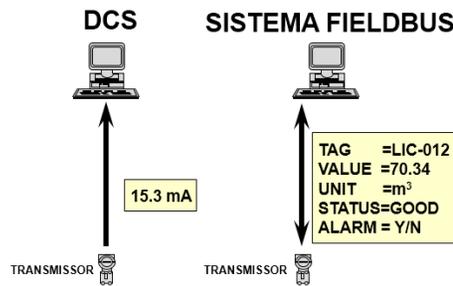


Figura 12: Confiabilidade de Informações (Acervo SMAR)

Outras vantagens da rede H1 são:

- Auto reconhecimento do instrumento instalado;
- Configuração de dispositivo remotamente;
- Alimentação do instrumento pelo mesmo cabo de sinal
- Capacidade de realizar diagnóstico, configuração, calibração via rede;
- Redução dos custos de engenharia, instalação e manutenção.
- Sinal de alta resolução e livre de distorções aumentando a confiabilidade do sistema de automação.

#### 2.4.1. Interoperabilidade

A definição de interoperabilidade é a capacidade de operação de dispositivos independentes do fabricante em um mesmo sistema sem perdas de funcionalidade. Qualquer dispositivo que possa ser utilizado em um sistema FF tem uma certificação, oferecido pela Fieldbus Foundation, de forma a atestar sua aplicabilidade. Esta flexibilidade de escolher o fornecedor eleva a gama de opções de equipamentos e soluções para os usuários.

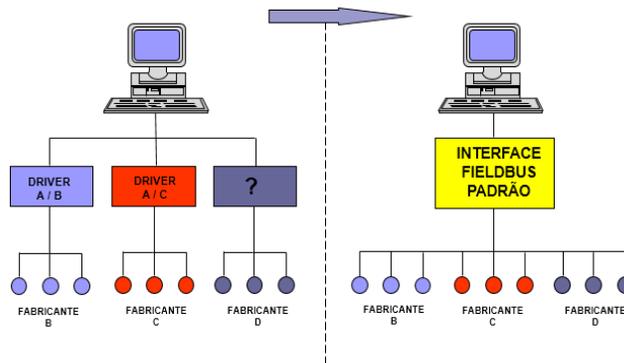


Figura 13: Interoperabilidade (Acervo SMAR)

### 2.4.2. Planejamento e Instalação

A rede FF permite que muitos dispositivos sejam conectados a um único par de fios. Isso resulta em menos fio, menos barreiras de segurança intrínsecas, e menos armários de empacotamento.

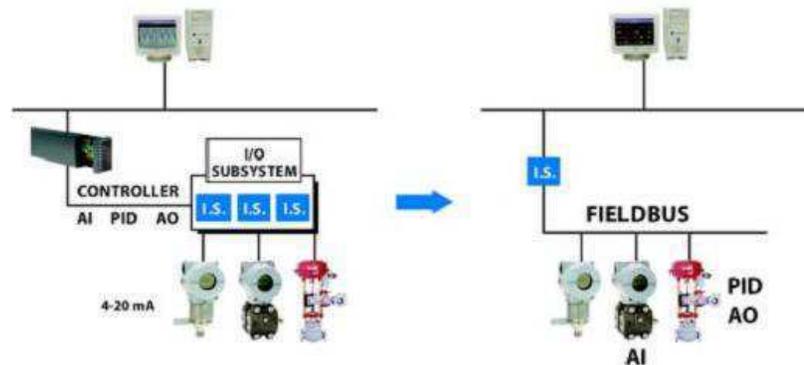


Figura 14: Comparativo de Instalação das Redes 4-20mA e FF (Acervo SMAR)

### 2.4.3. Operação

Do ponto de vista de operação, a aplicação de um sistema FF oferece múltiplas variáveis de cada dispositivo para monitoramento, permitindo análise de gráficos de tendências e de histórico de variáveis. As características digitais do sistema proporcionam outras vantagens, tal como o baixo nível de degradação do sinal, o que se traduz em um melhor desempenho, menos perdas e melhor controle.

#### **2.4.4. Manutenção**

Do ponto de vista de manutenção elenca-se também vantagens como a capacidade de auto testes que podem ser enviados remotamente através de auto diagnósticos como uma mensagem de alerta pra o sistema supervisor em caso de falhas.

As capacidades de auto teste e de comunicação de dispositivos de campo baseados em microprocessadores reduz o tempo de inatividade e melhorar a segurança da planta. Após a detecção de condições anormais ou a necessidade de manutenção preventiva, os operadores da planta e manutenção pode ser notificado. Isso permite que uma ação corretiva para ser iniciado rapidamente e com segurança.

### **3. PROTOCOLOS DE REDE**

Como já foi mencionado, a rede FF tem dois protocolos de comunicação: H1 e HSE. O primeiro, H1, transmite em 31.25 Kbps e é usado para conectar os dispositivos de campo. O segundo protocolo, HSE, utiliza com taxa de transmissão de 10 ou 100 Mbps o protocolo ethernet como a camada física e fornece um backbone de alta velocidade para a rede. H1 e HSE foram especificamente concebidos como redes complementares e a interligação delas são realizadas por linking devices. A maioria dos dispositivos destinam-se a usar um protocolo ou o outro. H1 é otimizada para aplicações de controle de processos tradicionais, enquanto HSE é projetada para aplicações de controle de alto desempenho. A solução H1/HSE Fieldbus combinado permite a plena integração do controle básico e avançado. Este protocolo foi desenvolvido para trabalhar com equipamentos complexos e inteligentes baseado em blocos de funções. O protocolo de comunicação de rede FF é modelado em 3 camadas descritas a seguir.

#### **3.1. Camada Física**

Esta camada diz respeito a informações trafegadas por meio de sinais elétricos, ou seja, aos níveis de tensão e de corrente que gerados devido a transmissão de dados. Essa camada faz a

conversão dos dados do barramento passando para a camada seguinte, a camada de enlace de dados.

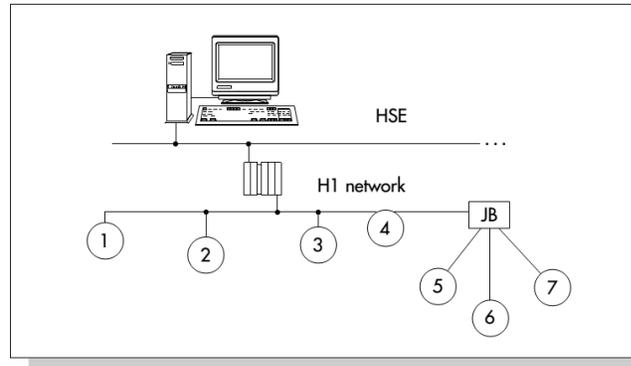


Figura 15: Camada Física (Technical Information Foundation Fieldbus SAMSON)

As regras básicas para validação de uma rede FF-H1 são:

- É formada por uma linha tronco com spurs que deve ser terminada por um terminador passivo;
- O comprimento máximo da linha tronco e da soma de todos os spurs é de 1900m;
- O número de instrumentos na rede pode ser: 2 a 32 instrumentos numa conexão não intrinsecamente segura com fonte de alimentação separada do sinal de alimentação. De 1 a 12 instrumentos quando são alimentados pelo cabo de sinal. Outros fatores como consumo de cada dispositivo, tipo de cabo utilizado e desempenho da rede influenciam a quantidade de instrumentos por barramento H1;
- Repetidores podem ser utilizados para regenerar o sinal após excedida a especificação de distância máxima. O número máximo de repetidores é quatro. A distância máxima entre dois instrumentos quaisquer não deve exceder 9500m;
- O cabo FF é polarizado. Inverter a polarização pode causar danos a todos os instrumentos conectados à rede.

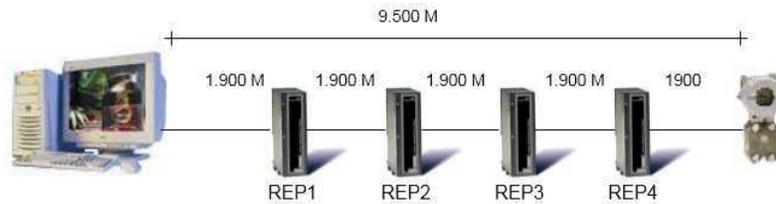


Figura 16: Distância Máxima na Rede FF (Acervvo SMAR)

### 3.1.1. Sub Rede HSE

A sub rede HSE possibilita o envio de informações da rede H1 para sistemas de supervisão e engenharia e realiza a integração dos PLC's, os subsistemas H1 e as estações de trabalho.

Ela baseada na tecnologia Ethernet padrão, assim pode ser executada a 100 Mbps. A taxa de transmissão extremamente alta permite que o barramento responda suficientemente rápido quando a carga a ela atrelada é baixa e os dispositivos são apenas alguns. A rede HSE é compatível com os protocolos da rede H1, permitindo o intertravamento de instrumentos localizados em diferentes segmentos de rede. Além disso permite a interligação de dispositivos que requerem grande capacidade de rede como CLP's, estações de trabalho e instrumentos especializados que necessitam transferir grandes blocos de dados. A rede HSE evita a existência de diversos níveis de hierarquia reduzindo qualquer configuração a dois níveis apenas.

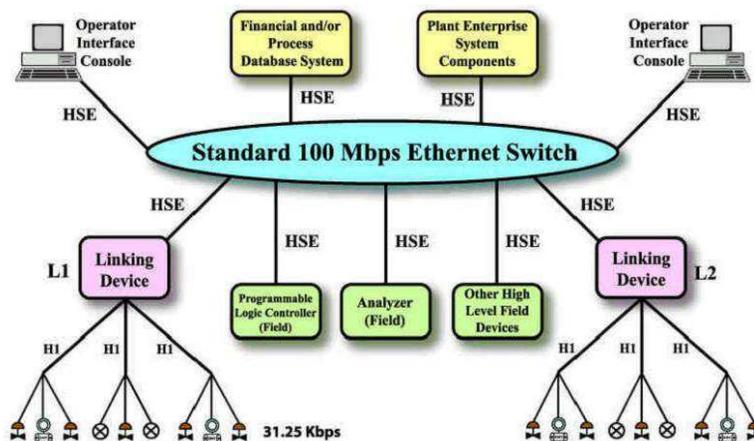


Figura 17: Estrutura de Rede FF (Technical Overview Foundation Fieldbus)

Um dispositivo de HSE é qualquer tipo de dispositivo FF conectado diretamente à sub rede HSE. Exemplos incluem dispositivos de união, dispositivos I/O, Gateway e dispositivos HSE de campo. Todos os dispositivos HSE contêm FDA agent, system management kernel (SMK), network management agente (NMA) ou virtual field device (VFD).

#### **3.1.1.1. Host Devices**

São denominadas estações de trabalho e possuem a capacidade de mantêm comunicação com os demais dispositivos HSE. Possui os softwares para configuração, supervisão e controle da rede FF.

#### **3.1.1.2. Dispositivos de Campo HSE**

Um dispositivo HSE Campo é um dispositivo similares a dispositivos H1, mas que também contém pelo menos um bloco função (FBAP).

#### **3.1.1.3. Linking Device**

Os linking devices são dispositivos usados para integrar as ligações H1 à rede HSE. Eles fornecem o acesso entre os dispositivos HSE e dispositivos de H1 e de acesso entre os dispositivos H1 interligados por uma rede HSE. Um linking device pode conter também uma ponte de H1 que proporciona a comunicação entre sub redes H1. Os linking devices também realizam outras funções como interligação de sinais discretos para aplicações híbridas através de pontos de I/O locais e oferecer interfaces para outros protocolos para facilitar a interligação de outros tipos de dispositivos inteligentes.



**Figura 18: Linking Device** (User Manual Foundation Fieldbus Linking Device Rockwell Automation)

#### **3.1.1.4. Dispositivos de I/O**

Um dispositivo de gateway de I/O é um dispositivo usado para fornecer acesso a rede FF de dispositivos que não são da rede FF via blocos de função.

#### **3.1.1.5. Redundância**

A redundância é utilizada neste caso para trazer mais confiabilidade na rede e para recuperar-se de certas condições de falha. Sob o ponto de vista de um sistema redundante, a rede e os equipamentos são compartilhados. Há tr tipos de redundância:

##### **3.1.1.5.1. Redundância de Rede**

Na redundância de rede há duas interfaces de rede ligadas aos equipamentos e as mensagens são publicadas em todas as redes que participam da redundância. Cada equipamento suporta duas interfaces de rede.

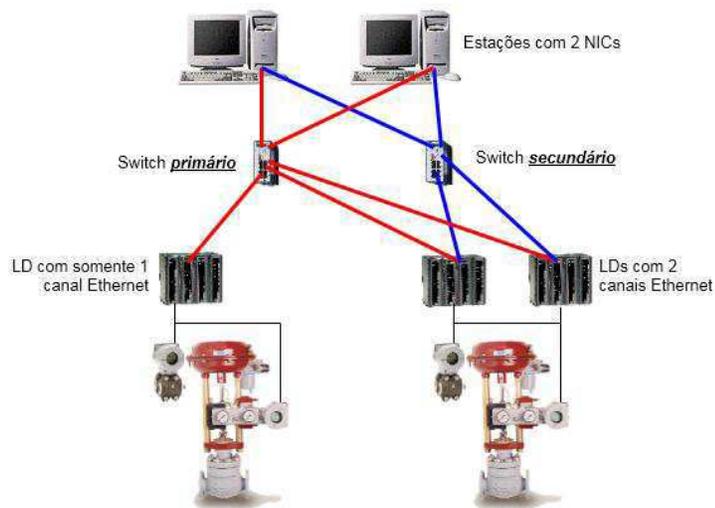


Figura 19: Redundância de Rede (Acervo SMAR)

Cada equipamento que recebe uma mensagem de diagnóstico atualiza sua *tabela de roteamento HSE* e usa-a para validar o caminho de rede para alcançar o equipamento que enviou a mensagem de diagnóstico.

### 3.1.1.5.2. Redundância de Equipamento.

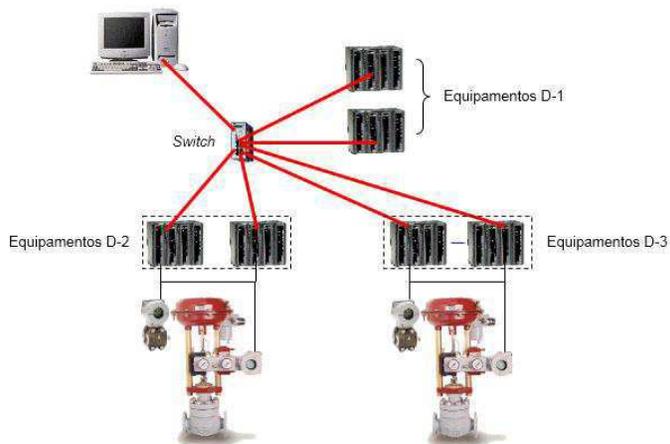


Figura 20: Redundância de Equipamento (Acervo SMAR)

Para a redundância de equipamento, são disponibilizados dois linking devices em que ambos ficam conectados na mesma rede HSE. Na ocorrência de uma falha do equipamento primário, o equipamento secundário assume o papel de primário. Este tipo de configuração

pode ser manual ou automático. Isto depende da estratégia de redundância adotada e das características dos equipamentos que participam dela.

### 3.1.1.5.3. Redundância de Fonte

A redundância de fonte garante que, caso uma fonte falhe, a rede não perca alimentação e, conseqüentemente, pare de operação deixando a planta sem controle e supervisão.

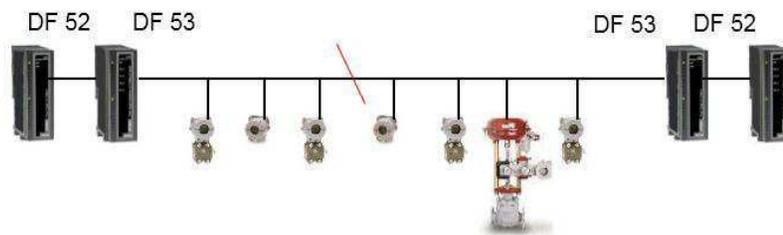


Figura 21: Redundância de Fonte (Fonte: Acervvo SMAR)

### 3.1.2. Sub Rede H1

A transmissão de dados dar-se de forma half-duplex serial, de forma que pode ser simultânea, ou seja em ambos os sentidos: do campo para o sistema de controle e do sistema de controle para o campo. Assim como a rede Profibus-PA, a rede FF têm sua camada física padronizada pela norma IEC 61158-2 e ISA S50.02. Os sinais são sinais são codificados utilizando a técnica Manchester Bipolar-L. Trata-se de uma comunicação síncrona que envia os sinais de dados combinados com o clock, isto é, a informação de clock já é agregada no fluxo serial de dados. A codificação Manchester é completamente simétrica e portanto não adiciona componente DC.

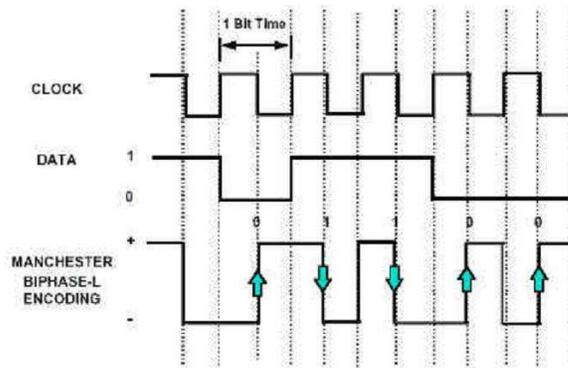


Figura 22: Codificação Manchester Bipolar L (Technical Overview Foudation Fieldbus)

Cada dispositivo físico nesta sub rede possui 3 níveis de identificação: TAG, endereço e ID. Eles podem ser elencados em três tipos: Link Master, Dispositivos Básicos e H1 Bridge.

### 3.1.2.1. Link Master

O Link Master é o que controla o tráfego de comunicação dentro da rede FF. Por possuir poder de processamento, após o download da configuração da rede, a malha de controle continua em operação mesmo a estação de trabalho estando desconectado. Desta forma é garantindo o controle ininterrupto da planta em operação.

Para um maior confiabilidade e segurança da malha de controle, pode-se existir vários links master numa mesma rede, embora apenas um link master pode controlar a comunicação. Este denominado Link Active Scheduler ou LAS. Em caso de falha do LAS, outro link master assumi esta função automaticamente.

A comunicação nesta base possui algumas regras que serão enumeradas a seguir:

- Um equipamento pode enviar pacotes somente quando tiver a permissão do LAS;
- O LAS tem a lista de todos os equipamentos que necessitam comunicar com a rede Fieldbus;
- LAS segue um cronograma de transmissão para ele dos demais links masters e ou dispositivos;
- Detém uma lista de tempo de transmissão para os buffers de todos os dispositivos que necessitam ser transmitidos ciclicamente;

- Além de enviar comandos para os dispositivos transmitirem dados, ele publica tempo de informação e permite transmissões programadas acíclicas.

### **3.1.2.2. Dispositivos Básicos**

São instrumentos de campo utilizados para supervisionar e atuar diretamente nos processos, assim são os agentes efetivos de controle do sistema. São dispositivos como transmissores, controladores e atuadores. Eles não pode desempenhar a função LAS. Diante disto, não são capazes de comunicação por agendamento.

### **3.1.2.3. H1 Bridge**

É o equipamento que conecta ligações H1 juntos dentro de uma árvore de expansão. Por determinação do protocolo, deve sempre ser LAS. Eles ligam os links masters de um sistema e encaminha os dados e republica entre e dentro das ligações H1;

### **3.1.3. Sub Rede H2**

O IEC, juntamente com a Fieldbus Foundation está desenvolvendo um novo modelo Fieldbus de sub rede chamado H2, com transmissão de dados entre 1 à 2,5 Mbps. A especificação do barramento H2 ainda não está concluído e a publicação da especificação preliminar foi anunciado. No entanto, é certo que a alta velocidade Ethernet (HSE) vai ser usado.

### **3.1.4. Topologias de Rede**

A topologia de rede é a maneira de como os equipamentos FF estarão interligados fisicamente em rede. Na prática as topologias de rede mais usadas são:

- Barramento com segmentos (Spurs): consiste em um cabo principal como barramento onde os equipamentos são conectados por meio de ramificações chamadas spurs;

- Barramento em árvore: os equipamentos são conectados a um cabo através principal de uma única caixa de junção com ramificações;
- Barramento com derivação: utiliza-se um barramento único onde equipamentos ou barramentos secundários são conectados diretamente a ele podendo-se ainda ter vários equipamentos diferentes em cada derivação;
- Ponto a ponto: nesta topologia temos a ligação em serie dos equipamentos utilizados nas aplicações. É importante lembrar que nesta configuração, os componentes devem ser conectados de tal forma que a desconexão de equipamentos não acarrete na desconexão dos outros equipamentos, ou seja, interrompa a continuidade do seguimento;
- Mista: Nesta topologia podemos encontrar uma mistura das topologias acima citadas, desde que respeitem o máximo comprimento dos cabos permitidos pelas regras FF.

#### 3.1.4.1. Elementos de Rede

O Condicionador é usado para filtrar o sinal FF da fonte de alimentação DC. Outras funções desempenhadas por ele é a isolamento uma rede H1 de outras, o balanceamento da impedância entre (+) e terra e (-) e terra (simetria). Este dispositivo é um equipamento de controle de impedância ativo, não-isolado, assim apresenta uma impedância de saída que, em paralelo com os dois terminadores do barramento resulta em uma impedância de linha puramente resistiva.

A fonte de alimentação é um equipamento de segurança não-intrínseca com uma entrada AC universal e uma saída de 24Vdc, isolada, com proteção contra sobrecorrente e curto-circuito, ripple e indicação de falha, apropriada para alimentar os elementos do Fieldbus.

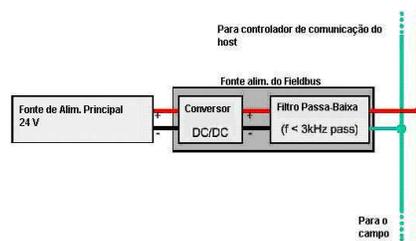


Figura 23: Fonte de Alimentação e Condicionador (Acervvo SMAR)

O terminador de barramento é um elemento passivo formado por uma resistência de 100 ohms em série com um capacitor de 1 $\mu$ F acondicionado em um invólucro vedado.

Em comunicação Fieldbus, a transmissão dos quadros é realizada por modulação de corrente e a recepção por sensibilidade de tensão. A função principal do terminador é converter a corrente transmitida em uma tensão que pode ser percebida pelo receptor. Além disso, os terminadores evitam distorções e perda de sinal.

Os terminadores são usados para o casamento de impedância nos pontos finais do segmento ou em suas proximidades. Dois e somente dois terminadores são permitidos por segmento.

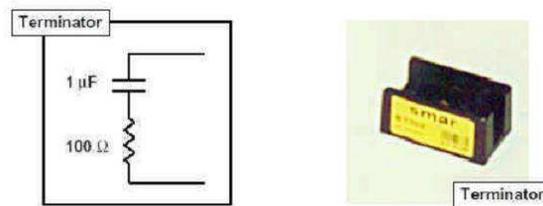


Figura 24: Terminador (Acervvo SMAR)

Os cabos FF especificados pela norma IEC são pares trançados e blindados para evitar interferências eletromagnéticas devido à direção oposta da corrente em cada fio. A blindagem deve estar aterrada, eliminando as correntes de indução dos fios.

### 3.2. Camada de Enlace

A camada de enlace controla a transmissão de mensagens. Tais mensagens podem ser agendadas ou não agendadas, cíclicas ou acíclicas. Na camada de enlace é implementado o controle de acesso ao barramento com o intuito de determinar qual equipamento e quando irá ter acesso liberado. Para o controle de transmissão de dados são realizadas várias sincronizações dentro da sub rede H1. Uma dessas é a sincronização do tempo de data link. A primeira função desta é proporcionar a sincronização no tempo de cada dispositivo no barramento. Cada instrumento possui um tempo de acesso e com o tempo dos demais instrumentos passam a apresentar um erro de fase (drift error). Como a comunicação deve ser determinística com precisão de 1ms os clocks devem ser sincronizados periodicamente. O

LAS é responsável por este serviço de sincronização do tempo de barramento ou data link time. Ele envia uma mensagem denominada TD (Distribuição de Tempo) periodicamente no barramento para informar cada dispositivo cronograma de acesso do barramento.

Outro sincronismo é o de tempo do dia, utilizado para aplicar a estampa de tempo de cada dado lido e nos eventos e alarmes ocorrido. Este tempo é denominado tempo de aplicação e deve ser sincronizada para todos os dispositivos. Este sincronismo é obtido através da mensagem de tempo enviada por um dispositivo denominado Time Master através de uma mensagem do tipo DT (Data Transfer) enviada. O Time Master pode ser qualquer dispositivo do barramento incluindo o host que também executa o papel de LAS ou qualquer instrumento. Esta mensagem não é considerada parte do ciclo de manutenção do enlace de dados.

A camada de enlace de dados inclui outras atividades como a identificação de novos instrumentos inseridos na rede. Isto proporciona a importante capacidade de plug and play da rede. O LAS mantém uma lista com todos os endereços de dispositivos ativos no barramento. Esta lista é chamada de Live List. Uma mensagem especial denominada PN (Probe Node) é utilizada para identificar novo dispositivo. O LAS periodicamente envia mensagens PN para os nós que não estão na Live List. Se um dispositivo está presente no endereço ele responde com a mensagem PR (Probe Response). O LAS inclui o dispositivo na Live List e confirma a ativação do dispositivo através da mensagem Node Activation. Cada dispositivo é identificado por três valores:

- Device ID: Número de série definido pelo fabricante do instrumento. Por exemplo: 31416ACME93293;
- Device Name (TAG): definido pelo usuário. Por exemplo: TT-01;
- Device Address: endereço único no segmento. Por exemplo: 33.

Todo o endereçamento é configurado por comandos do barramento sem o uso de jumpers ou dip switches.

Os dispositivos de campo utilizados são capazes de assumir as funções de controle de processo. Esta opção baseia-se na comunicação distribuída que garante que cada dispositivo de campo de controle possa trocar dados com outros dispositivos por exemplo, leitura de medição de valores, encaminhando valores de correção. Todos os dispositivos de campo são

distribuídos no tempo, que significa que o processamento das diferentes malhas de controle não é influenciado negativamente. Assim dois ou mais dispositivos nunca acessar o barramento simultaneamente. Para atender a esses requisitos, o barramento H1 da Foundation Fieldbus usa um sistema de controle central de comunicação.

O controle da transmissão de mensagens no barramento através do LAS, que age como um agente determinístico centralizado de barramento. O LAS permite dois tipos de comunicação entre dispositivos, agendada e não agendada. No modo agendado o LAS tem o conhecimento prévio dos tempos em que cada dispositivo deve enviar dados fazendo o gerenciamento do envio dos dados informando a vez de cada dispositivo enviar os dados.

Na comunicação não agendada é usado o conceito de passagem de ficha, de forma que, quando o barramento está ocioso o LAS envia uma mensagem para um dispositivo, habilitando o mesmo para o envio da mensagem.

### **3.2.1. Dispositivos Virtuais de Rede**

Todo dado dos dispositivos acessível via rede é descrito pelo Object Dictionary (OD), que depende do dispositivo. O Virtual Field Device (VFD) contém todos os objetos e descritores de objetos que podem ser utilizados por um usuário de comunicação. Todo dispositivo de campo geralmente tem duas VFD:

- FFD para blocos de função;
- Management Information Base (MIB) que retrata aplicações de gerenciamento de rede e do sistema.

Toda aplicação de controle consiste de blocos de função interconectados. Blocos são conectados através de objetos de ligação (linking objects) da VFD de blocos de função. Um objeto de ligação irá conectar dois blocos de função no mesmo instrumento ou um bloco de função para uma VCR.

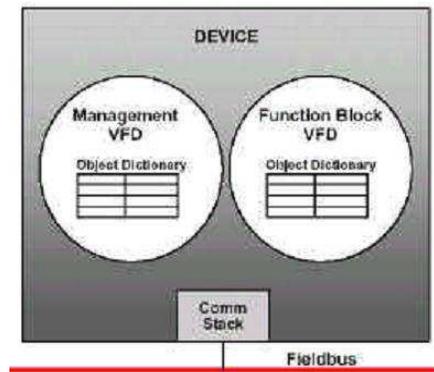


Figura 25: Dispositivo de Campo Virtual (Acervo SMAR)

Um dispositivo de campo virtual (CSC) é usado para visualizar remotamente dados de dispositivos locais descritos no dicionário do objeto.

### 3.2.2. Comunicação

A pilha de comunicação consiste em três camadas: Fieldbus Message Specification (FMS), Fieldbus Access Sublayer (FAS) e Data Link Layer (DLL).

A FAS usa os recursos programados e não programados da camada de enlace de dados para fornecer um serviço para o FMS. Os tipos de serviços FAS são descritos por Virtual Comunicação Relações (VCR).

O FAS fornece serviços de comunicação, tais como client/server para dados de controle, publisher/subscriber para supervisão e distribuição de eventos para supervisão e eventos.

O FMS permite que aplicativos do usuário possam enviar mensagens uns aos outros através do fieldbus usando um conjunto padrão de formatos de mensagem. O FMS descreve os serviços de comunicação, formatos de mensagens e protocolo de comportamento necessário para construir mensagens para o aplicativo de usuário.

A DLL controla a transmissão de mensagens para o fieldbus e gerencia o acesso ao barramento de campo através do LAS.

### 3.2.3. Transmissão de Dados

O VCR é como o recurso de discagem rápida. Esta informação só precisa ser inserida uma vez e, em seguida, um "número de discagem rápida" é atribuído. O VCR é como uma

abreviatura de acesso, uma pequena estrutura que resume um conjunto maior de dados pré-armazenados.

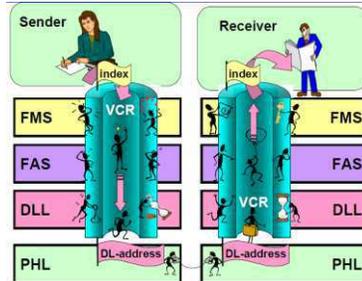


Figura 26: Virtual Communication Relationships (Acervo SMAR)

A camada FAS utiliza as funções de comunicação escalonada e não escalonada para proporcionar um serviço à camada FMS. Estes serviços são descritos por VCR. A comunicação escalonada é usada para transferir dados cíclicos de malhas de controle entre os blocos de função. O LAS possui uma lista com os tempos para transmissão de todos os blocos de todos os dispositivos que necessitam ser transmitidos ciclicamente.

Quando chega a hora de um dispositivo enviar um buffer, o LAS envia uma mensagem do tipo Compel Data (CD) para o dispositivo. Ao receber o CD o dispositivo publica o dado para todos os dispositivos no barramento. Todo dispositivo que estiver configurado para receber o dado é chamado de subscritor. O LAS reserva um tráfego exclusivo para realizar as comunicações escalonadas.

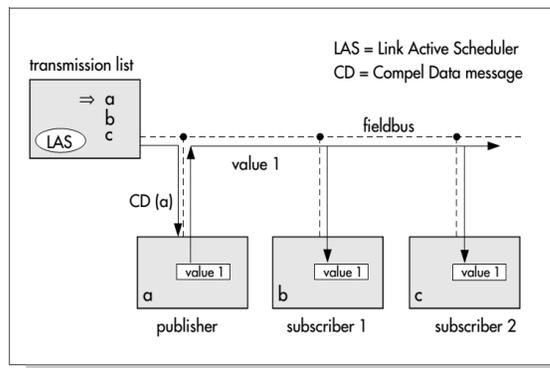


Figura 27: Comunicação Escalonada (Technical Information Foundation Fieldbus SMASON)

Todos os dispositivos do barramento têm a chance de transmitir informações não escalonadas entre os ciclos de transmissão de mensagens cíclicas. O LAS garante uma

permissão para um dispositivo usar o barramento emitindo uma mensagem do tipo PT (Pass Token) para o dispositivo. Quando o dispositivo recebe o token ele tem o direito de usar o barramento até terminar ou até o tempo máximo de manutenção do token ter sido alcançado.

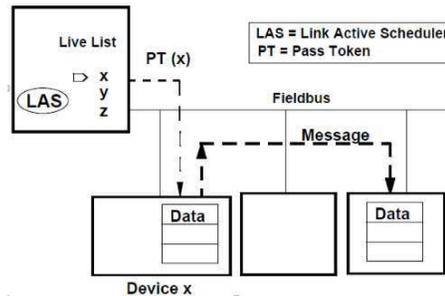


Figura 28: Comunicação Não Escalonada (Acervvo SMAR)

O mecanismo pode ser sumarizado como:

1. O Cliente necessita de dado do servidor;
2. O Cliente coloca uma mensagem Data Transfer Request na fila;
3. Cliente recebe o token do LAS;
4. Cliente envia Data Transfer Confirmed Request para o Servidor;
5. O Servidor coloca dado solicitado na fila de mensagens;
6. Servidor recebe token do LAS;
7. Servidor envia Data Transfer Confirmed Response para o Cliente;
8. Cliente recebe e decodifica dado solicitado;
9. LAS continua a cuidar de outras comunicações do barramento.

### 3.3. Camada de Aplicação

A camada de aplicação, última camada a ser utilizada, é uma interface de interação do usuário com o sistema em termos de configuração e monitoramento. Em síntese, nesta camada é definido a forma de ler, escrever e executar tarefas numa estação de trabalho e opera a partir da descrição de cada dispositivo. Essas descrições são representações de funções e dados dos dispositivos através de blocos e objetos e que assim definem as capacidades de cada dispositivo de uma forma padronizada. Os blocos são considerados como unidades de

processamento, desta forma, podem ter entradas, configurações para ajustar o comportamento e um algoritmo para produzir saídas. Os blocos podem comunicar-se entre si, e através dos blocos de funções pode-se traçar uma estratégia de controle. Um critério importante para um sistema de barramento de campo para ser aceito pelo mercado é a interoperabilidade dos dispositivos. Além disso, deve garantir-se que um componente de um fabricante pode ser substituído com o de outra, também chamado permutabilidade. Isso requer uma especificação de protocolo aberto que define as funções do dispositivo uniformes e interfaces de aplicativos. Outros dispositivos sobre os programas de rede e de aplicativos podem usar essas interfaces para acessar as funções e parâmetros dos dispositivos de campo. O Foundation Fieldbus faz essas definições baseadas nos blocos e descrições de dispositivos.

Existem três tipos de blocos básicos: blocos de recursos e blocos de transdutores, utilizados para configurar os dispositivos e blocos de função, utilizados para construir a estratégia de controle.

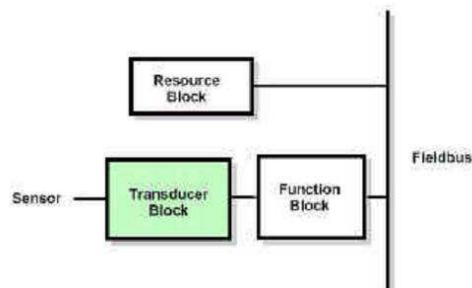


Figura 29: Blocos Básicos (Acervo SMAR)

- Bloco de Recursos: descreve características do dispositivo e apresenta o nome do dispositivo, o fabricante e o número de série;
- Bloco de Função: fornecem o comportamento do sistema de controle através dos parâmetros de entrada e saída. São usados na definição de aplicação de monitoramento e controle do sistema. Os parâmetros de entrada e saída de blocos de funções podem ser ligados com execução programada;
- Blocos de transdutores: são usados configurar dispositivos e contêm informações como data de calibração e tipo de sensor. Diferentemente dos blocos funcionais, os parâmetros de entrada e saída locais são necessários para ler sensores e hardware de saída do comando.

### 3.3.1. Sistema de Configuração

A configuração de uma rede FF é realizada por meio de um software em uma estação de trabalho conectada a rede FF através do protocolo HSE. Assim sendo, a configuração é executada de forma up-down, ou seja, do linking device até os dispositivos de campo. No configurador, as entradas e saídas dos blocos de função são ligados entre si de forma a criar uma estratégia de controle por malha.

O Configurador cria automaticamente um cronograma de execução para os blocos de função. Semelhante a um programa, é necessário realizar download da aplicação dos blocos de função e o cronograma para o dispositivo para que ele execute de acordo com o processo estabelecido na configuração.

Após a configuração e download da aplicação para toda a rede FF, a supervisão e monitoramento da rede é feita em loop, que são um grupo de blocos funcionais ligados entre si a uma taxa de execução. Pode-se ter vários loops executados em tempos diferentes na mesma subrede. Mesmo funcionando em velocidades diferentes, os loops podem enviar dados uns aos outros. Todos os loops são executados dentro de um macrociclo, que é, matematicamente, o mínimo múltiplo comum de todos os tempos de loop em uma determinada subrede.

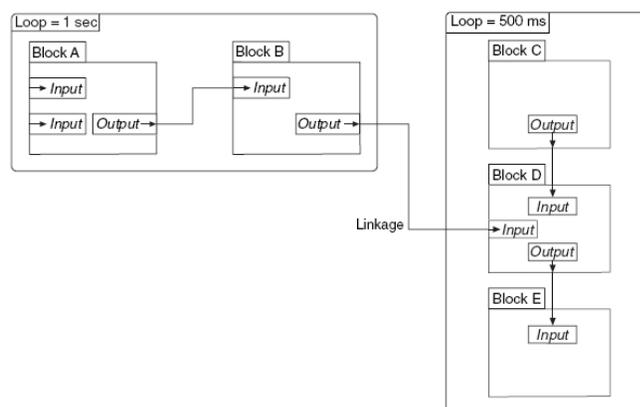


Figura 30: Loop de uma Rede FF (Acervo SMAR)

### 3.3.2. Sistema de Gerenciamento

Depois de realizada a configuração da rede FF e de enviar a aplicação para os dispositivos de campo, pode-se desenvolver outra aplicação para gerenciamento e supervisão da rede. Esta aplicação é utilizada para monitorar a estratégia de controle e o comportamento de toda a rede.

### 3.3.3. Descrição de Dispositivos

A Device Description (DD) é uma descrição textual do dispositivo de campo produzida pelo fabricante do instrumento para uso dos sistemas host. A definição é feita utilizando uma linguagem universal denominada DDL (Device Descriptor Language). Esta linguagem é normatizada através da norma IEC 61 804 Function Block Application e EDDL e CENELEC 50391 – Network Oriented Application Harmonization Electronic Device Description Language. O texto fonte é denominado DD Source. Este texto pode ser convertido para uma notação mais compacta denominada DD binário por um software denominado tokenizer.

É uma descrição extensa dos dados de um equipamento que possibilita a interoperabilidade entre equipamentos de campo e hosts. O conjunto de arquivos DD é composto por 3 arquivos: Capability Files ( \*.cff extension ) e Device Description Files ( \*.sym, \*.ffo extensions ).

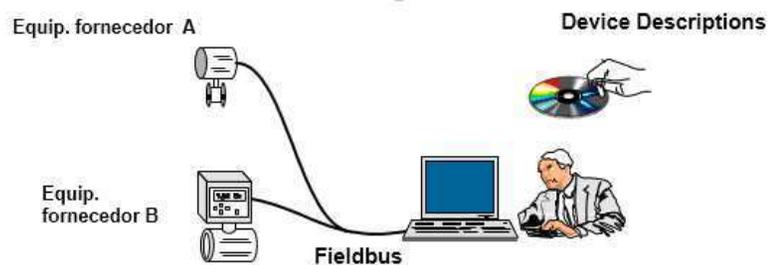


Figura 31: Interoperabilidade (Acervvo SMAR)

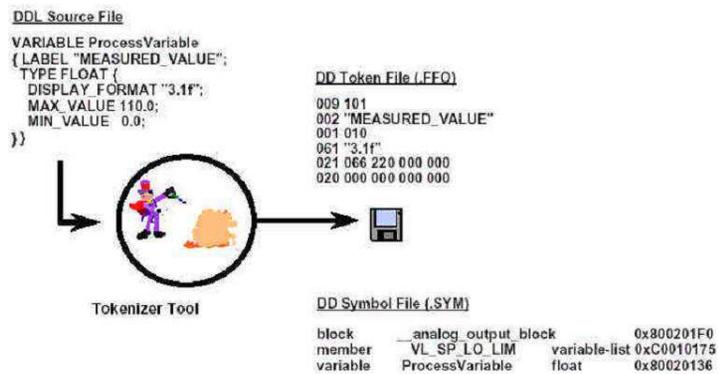


Figura 32: Device Description (Acervvo SMAR)

A descrição do equipamento é interpretada por um software no computador host que traduz todas as informações numa linguagem mais amigável. Este software é denominado serviço de descrição de dispositivo ou DDS (Device Descriptor Services). O DD independe do sistema operacional utilizado pelo sistema de controle. Está sendo desenvolvida uma padronização suplementar com o nome de EDDL (Electronic Device Description Language) com o objetivo de tornar a apresentação dos dados do DD mais atraentes e compatível com os padrões da web.

A DD fornece uma descrição estendida de cada objeto no campo Dispositivo Virtual (VFD) e ainda as informações necessárias para um sistema de controle ou host para entender o significado dos dados do CSC, incluindo o IHM para funções tais como a calibração e diagnósticos. Assim, a DD pode ser pensado como um driver do dispositivo. Qualquer sistema de controle ou host pode operar com o dispositivo se ele tiver DD do dispositivo

O Fieldbus Foundation fornece DD para todos os blocos de funções standard e transdutor, enquanto os fornecedores dos dispositivos desenvolvem DD adicionais de cada equipamento.

Os fornecedores podem também adicionar recursos específicos, tais como a calibração e procedimentos de diagnóstico para seus dispositivos.

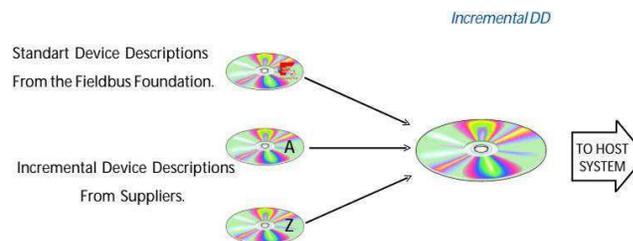


Figura 33: DD Incrementais (Fieldbus Tutorial SMAR)

### 3.3.3.1. Serviço de Descrição de Dispositivo

No lado do host, funções da biblioteca chamado Dispositivo Descrição Serviços (DDS) são usados para ler as descrições de dispositivos. Para ter novos dispositivos adicionados ao barramento de campo, basta simplesmente conectar o dispositivo ao cabo de barramento de campo e fornecendo ao sistema de controle ou host as DD para o novo dispositivo. A tecnologia DDS permite a operação de dispositivos de fornecedores diferentes no mesmo barramento de campo com apenas uma versão do programa de IHM.

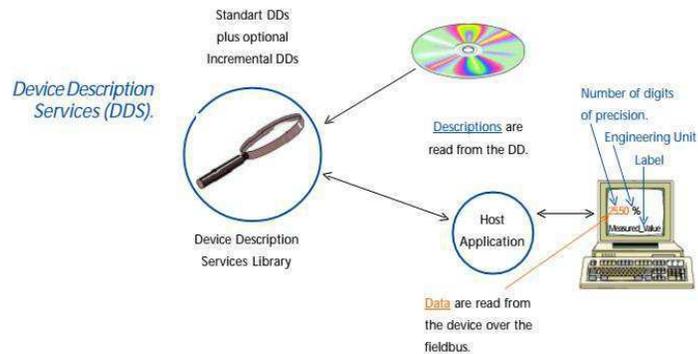


Figura 34: Description Device Service (Fieldbus Tutorial SMAR)

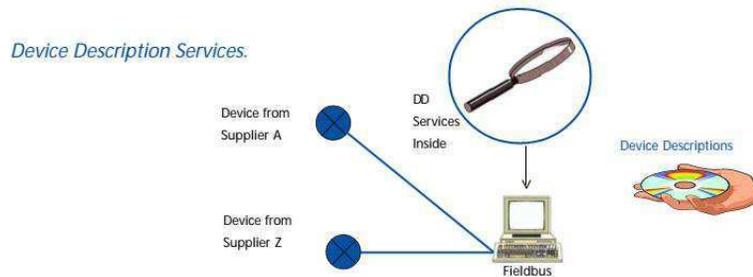


Figura 35: Biblioteca DD de Fornecedores Diferentes (Fieldbus Tutorial SMAR)

Cada fabricante fornecerá a Fieldbus Foundation um relatório de teste de interoperabilidade para cada dispositivo. Neste relatório de ensaio identifica blocos de funções, transdutor e os parâmetros específicos do dispositivo pelo fabricante. Uma identificação do fabricante é usada para correlacionar o tipo de dispositivo e revisão com a sua descrição de dispositivos e revisão DD.

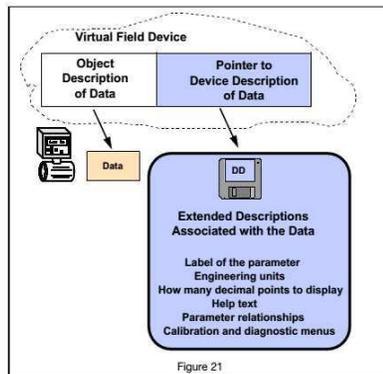


Figura 36: Virtual Field Device (Fieldbus Tutorial SMAR)

### 3.3.3.2. Capability Files

O arquivo Capability diz quais recursos o dispositivo disponibiliza em termos de blocos de funções. Isso permite que o host possa configurar o dispositivo mesmo que não esteja conectado a ele (modo offline) e ainda garantir que apenas funções suportadas pelo dispositivo sejam alocadas na aplicação e que outros recursos não são excedidos.

### 3.3.4. Modelo de Blocos

O Fieldbus Foundation atribui todas as funções e dados do aparelho para três diferentes tipos de blocos. A atribuição depende do tipo de função do dispositivo.

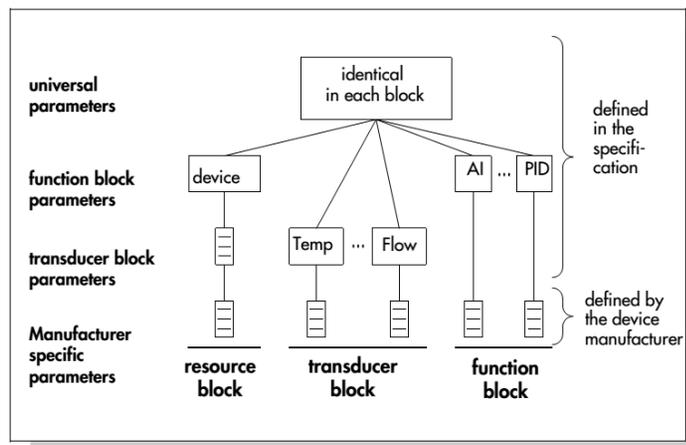


Figura 37: Tipos de blocos de função (Technical Information FoundationFieldbus SAMSON)

Os blocos funcionais são usados para implementar o controle do processo. A combinação desses blocos fundamentais por meio de interligação entre eles construirá a lógica e a estratégia definida para a automação. Numa rede FF, cada equipamento possui um conjunto de blocos de função. Os blocos possuem um conjunto de parâmetros que podem ser configurados segundo a aplicação desejada.

Quando os equipamentos forem ligados à rede (modo online) é possível fazer o download da configuração, transferindo assim os parâmetros configurados ao equipamento.

Os dez principais blocos de função são:

- Analog Input - AI
- Analog Output -AO
- Bias/Gain - BG
- Control Selector - CS
- Discrete Input - DI
- Discrete Output - DO
- Manual Loader - ML
- Proportional Derivative - PD
- Proportional/Integral/Derivative - PID
- Ratio – RA

A especificação FF-892 introduz novos blocos de controle:

- Device Control - DC
- Output Splitter - OS
- Signal Characterizer - SC
- Lead Lag - LL
- Dead Time - DT
- Integrator (Totalizer) - IT
- SetPoint Ramp Generator - SPG
- Input Selector - IS

- Arithmetic - AR
- Timer - TMR
- Analog Alarm – AAL

A especificação FF-893 introduziu os blocos múltiplos ou multiple I/O (MIO):

- Multiple Analog Input - MAI
- Multiple Analog Output - MAO
- Multiple Discrete Input - MDI
- Multiple Discrete Output - MDO

A grande inovação veio através da especificação FF-894, que permite a criação de um bloco de aplicação livre pelo próprio usuário usando a norma IEC 61131-3. Este bloco recebeu o nome de Flexible Function Block (FFB).

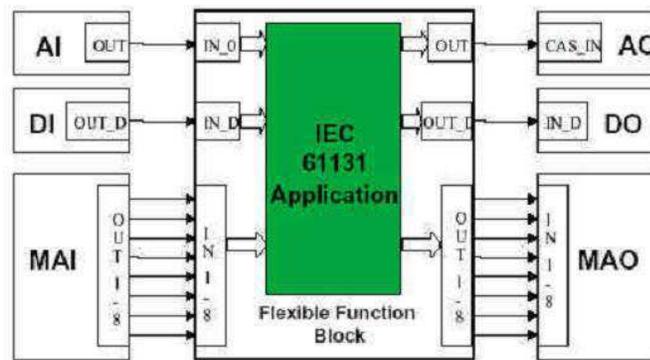


Figura 38: Flexible Function Block (Acervo SMAR)

### 3.3.4.1. Bloco de Resolução

O Bloco de Recursos descreve características físicas do dispositivo de campo, como o nome do dispositivo, o fabricante, o número de série, ID e versão do hardware e do firmware e capacidade de memória. São blocos visíveis externamente mas que não podem ser interligados nem participar do escalonamento estabelecido pelo LAS. Há apenas um bloco de recursos em um dispositivo.

### 3.3.4.2. Bloco Transdutor

Os blocos transdutores expande as possibilidades de complexidade e de aplicação de um dispositivo. Eles podem ser usados para calibrar e reportar os dados de medição e posicionamento, linearizar características ou converter unidades físicas usando os dados de processo adicionais.

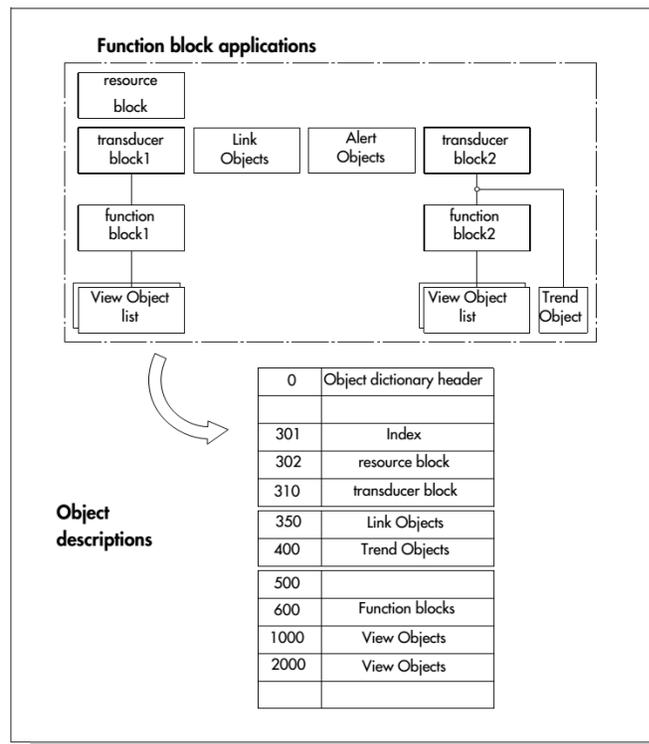


Figura 39: Blocos de Funções (Technical Information FoundationFieldbus SAMSON)

### 3.3.4.3. Bloco de Funções

Os blocos de função determinam o comportamento do sistema descrevendo as funções de um dispositivo e definindo a forma como estes podem ser acessados. As entradas e saídas dos blocos de função podem ser interligadas para configurar uma estratégia de controle. A execução de cada bloco de função pode ser precisamente escalonada pelo sistema através do LAS. Os blocos de função podem ser incorporados em dispositivos de barramento de campo, conforme necessário, para alcançar a funcionalidade do dispositivo desejado. Por exemplo, um

transmissor de temperatura simples podem conter um bloco de função AI. A válvula de controlo pode incluir um bloco de função PID, bem como o bloco AO esperado.

#### 4. ESTUDO DE CASO

Essa parte do trabalho trata do objetivo específico, descrevendo a implementação de uma rede FF para uma planta de instrumentação SMAR.

##### 4.1. Planta SMAR

A planta de instrumentação é constituída de 3 tanques, sendo 1 tanque de alimentação e os outros 2 tanques idênticos que manipulam a variáveis de processo, 1 bomba de água e 1 compressor de ar. A planta opera com 3 variáveis de processo:

- Nível;
- Temperatura;
- Pressão.

A planta ainda conta com um conversor Fieldbus / 4-20mA e dois posicionadores de válvula para o controle de vazão de saída dos tanques de controle.

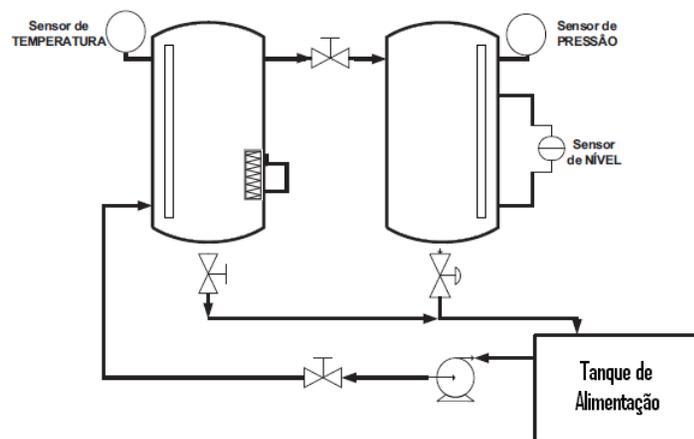


Figura 40: Modelo da Planta de Instrumentação

#### **4.1.1. Descrição de Funcionamento**

O processo de funcionamento segue a seguinte dinâmica:

- A bomba de água faz a ligação do tanque de alimentação com o tanque 2, enquanto o compressor de ar está acoplado com o tanque 3.
- O tanque de alimentação bombeia diretamente água para o tanque 2, onde há 2 resistências para a manipulação de temperatura da planta.
- O tanque 2, que opera com nível constante, alimenta o tanque 3.
- O tanque 3 é pressurizado e o nível controlado a partir da vazão de saída para o tanque de alimentação.

#### **4.2. Instrumentação**

A planta em estudo apresenta 3 sensores de instrumentação para as variáveis de níveis, temperatura e pressão. Dois são de medição de pressão diferencial LD302 e um de medição de temperatura TT302.

##### **4.2.1. Camada Física**

A camada física da rede Foundation Fieldbus utilizada na planta de instrumentação possui uma estrutura simples com uma fonte de alimentação para todos os dispositivos conectados ao barramento, uma impedância ativa para uma impedância de saída alta, terminador de barramento, um linking device para o controle da rede FF, três equipamentos de instrumentação, um conversor de sinais Fieldbus / 4-20mA e dois posicionadores de válvulas.

##### **4.2.1.1. Dispositivos e Elementos de Rede**

Os elementos presentes na concepção da rede FF na planta estão elencados abaixo:

- Fonte de alimentação SMAR DF52: equipamento de segurança não-intrínseco com uma entrada AC universal (90 a 264V, 47 a 63 Hz) e uma tensão de saída DC de 24V isolada, com proteção contra sobrecorrente e curto-circuito.



Figura 41: Fonte SMAR DF52

- Impedância ativa SMAR DF53: instrumento de controle de impedância ativo, não isolado, de acordo com o padrão IEC61158-2. Este instrumento apresenta uma impedância de saída que, em paralelo com os dois terminadores de barramento (um resistor de 100 $\Omega$  em série com um capacitor de 1 $\mu$ F), resulta em uma impedância de linha puramente resistiva de aproximadamente 50 $\Omega$ .



Figura 42: Impedância Ativa SMAR DF53

- Terminador de Barramento SMAR BT302: consiste em um circuito RC em série, com componentes de alta precisão e de baixas variações em temperatura.



Figura 43: Terminador BT302

- Transmissor de Pressão Diferencial SMAR LD302: sensores de pressão diferenciais do tipo capacitivo. São utilizados na planta para medição de pressão e nível no tanque 3.



Figura 44: Transmissor de Pressão Diferencial LD302

- Transmissor de Temperatura SMAR TT302: transmissor apropriado para medições de temperatura usando termoresistências ou termopares mas também aceita outros sensores que gerem resistência. Utilizado na medição de temperatura do tanque 2.



Figura 45: Transmissor de Temperatura TT302

- Posicionadores de Válvula SMAR FY302: É um posicionador de válvula de controle para válvulas pneumáticas em sistema Fieldbus. O FY302 produz a pressão de saída

requerida para posicionamento de uma válvula de controle conforme entrada recebida pela rede Fieldbus ou controle interno.



Figura 46: Posicionador FY302

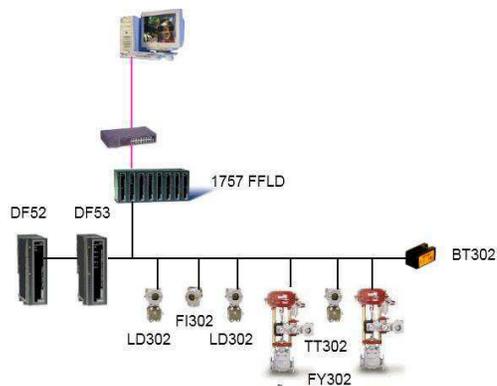
- Linking Device Allen Bradley 1757-FFLD: dispositivo de gerenciamento de rede H1. O FFLD coordena todo o tráfego de dados entre os dispositivos da sub rede H1 e também os dados passados para a sub rede HSE.



Figura 47: Linkig Device 1757-FFLD

#### 4.2.1.2. Topologia

A topologia presente na planta SMAR é uma topologia em estrela, demonstrada na imagem abaixo.



**Figura 48: Topologia da Rede FF**

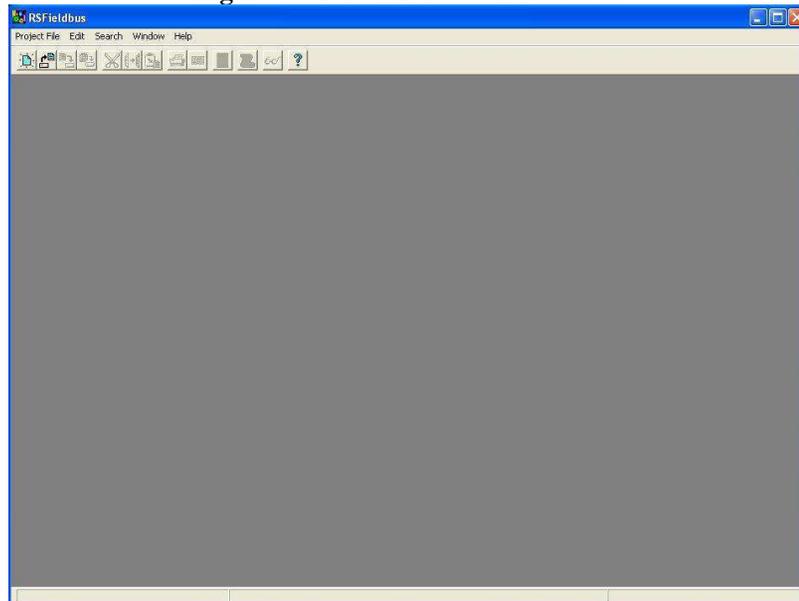
#### 4.2.2. Camada de Aplicação

A aplicação da rede foi desenvolvida com auxílio do software RSFieldbus, da Rockwell Automation. A partir dele foi criado um projeto que contemplou a parametrização dos dispositivos de interface e de campo. A seguir será descrito o passo a passo da configuração de toda a rede.

##### 4.2.2.1. Configuração

1º Passo: Iniciar o software RSFieldbus.

**Figura 49: Tela Inicial do RSFieldbus**



2º Passo: Para criar um novo projeto, vá em Project File, clique em New e, posteriormente em Project.

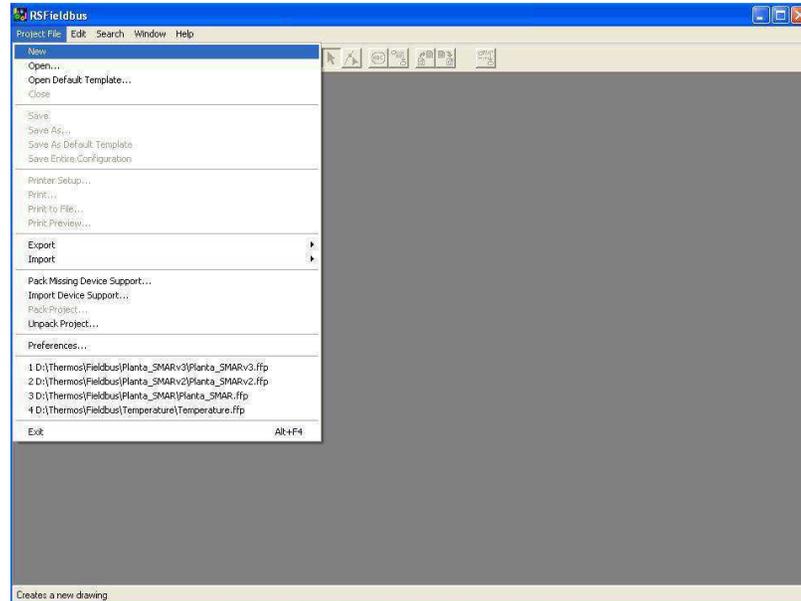


Figura 50

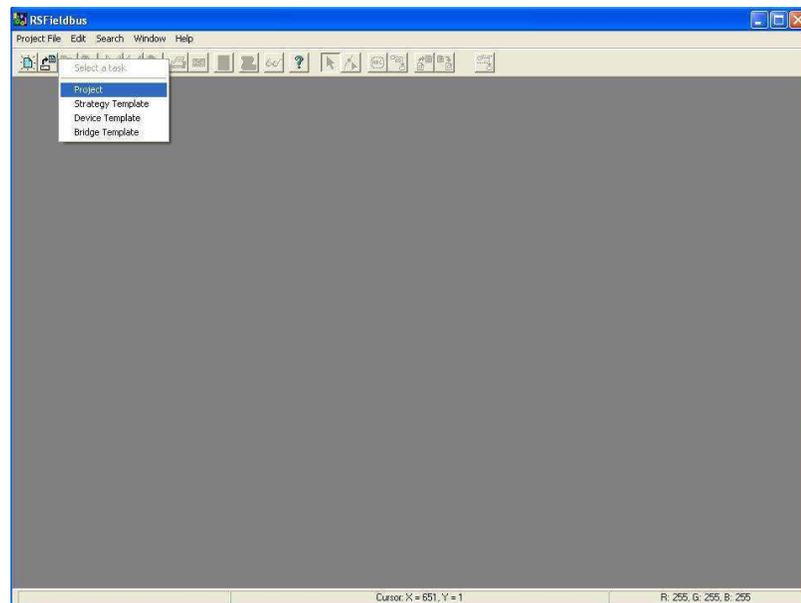


Figura 51

3º Passo: Comunicar a estação de trabalho com a rede FF.

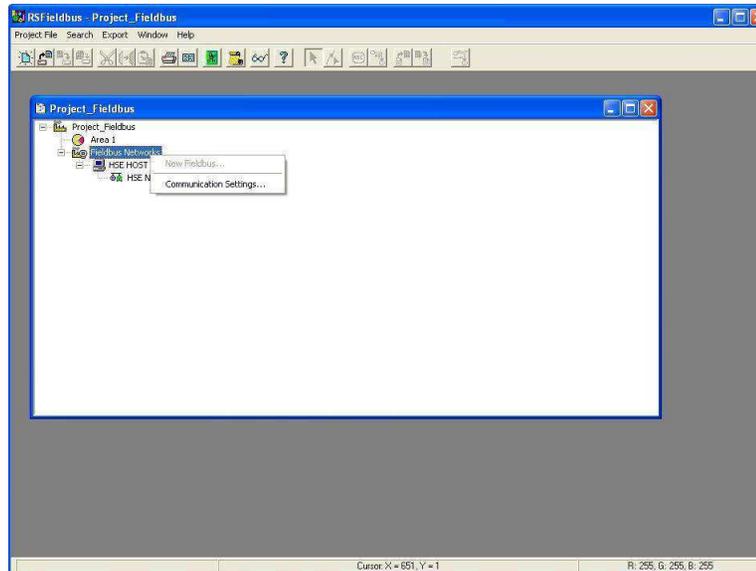


Figura 52



Figura 53

4º Passo: A partir da comunicação estabelecida, pode-se ver os dispositivos conectados na sub rede HSE pela opção Live List clicado o botão direito do mouse em HSE Network.

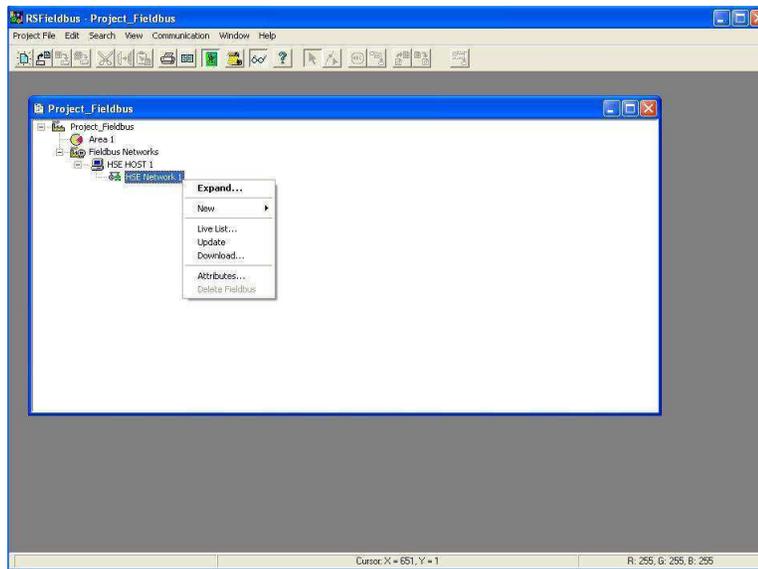


Figura 54

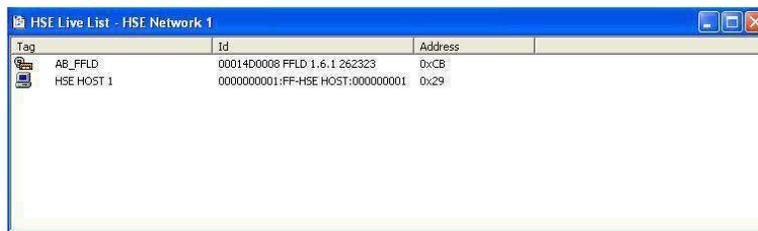


Figura 55

5º Passo: Adicionar os linking device presentes na rede. Há também a opção de adicionar dispositivos de campo que se comunica diretamente na sub rede HSE. Lembrar que cada dispositivo tem uma ID e uma Tag associado e que fica exposto na live list. Após acrescentado, clique com o botão direito do mouse e seleciona a opção Attributes e informar a ID e Tag do dispositivo que deseja está associado. Atentar também para as revisões de firmware dos equipamentos.

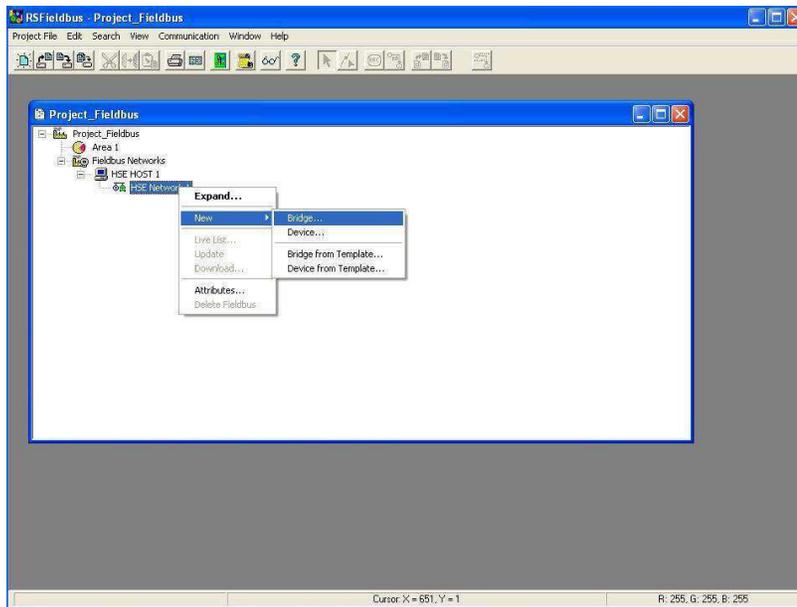


Figura 56

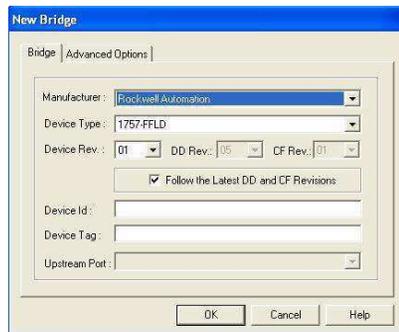


Figura 57

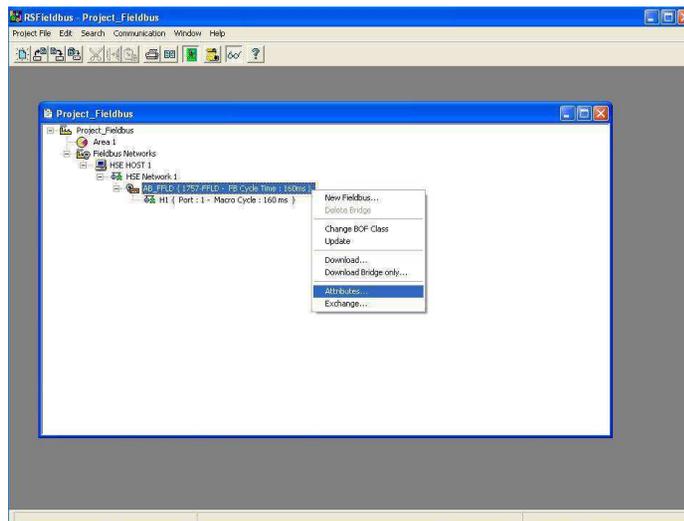


Figura 58

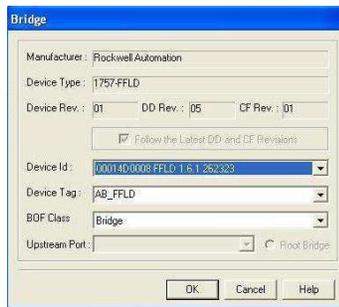


Figura 59

6º Passo: Prosseguindo, cria-se a sub rede H1, onde estarão associados os dispositivos de campo. Com o botão direito, clica no bridge adicionado e depois em New Fieldbus. Há a opção de informar a redundância da rede.

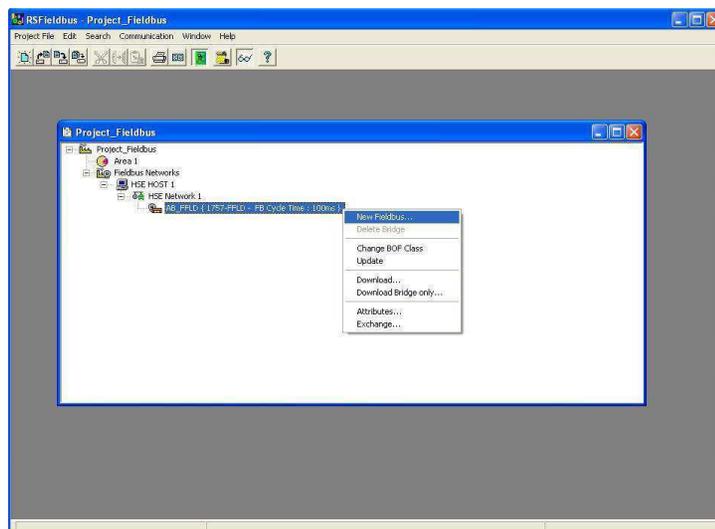


Figura 60

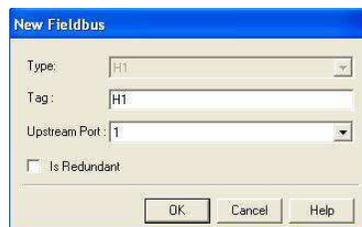
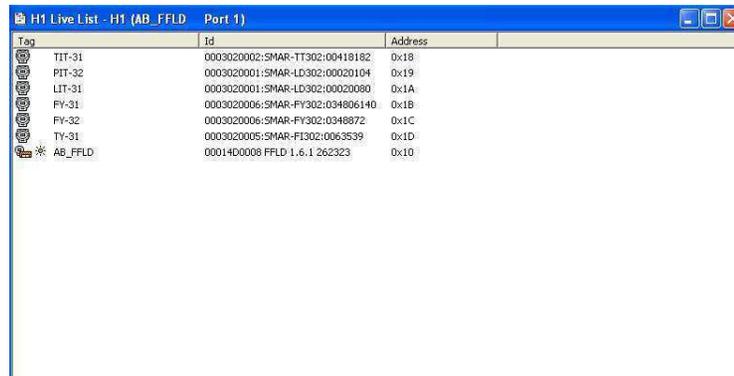


Figura 61

7º Passo: Continuando, é possível acessar a Live List da sub rede H1. A partir dela, pode-se adicionar os dispositivos de atuação e de instrumentação presentes. Realizando um

procedimento similar ao brigde, acrescenta-se um a um os equipamentos e depois faz as atribuições de cada. Antes é necessário expandir a sub rede H1.



Tag	Id	Address
TIT-31	0003020002:SMAR-TT302:00418182	0x18
PIT-32	0003020001:SMAR-LD302:00020104	0x19
LIT-31	0003020001:SMAR-LD302:00020080	0x1A
FY-31	0003020006:SMAR-FY302:034806140	0x1B
FY-32	0003020006:SMAR-FY302:0348872	0x1C
TY-31	0003020005:SMAR-FI302:0063539	0x1D
AB_FFLD	0001400008 FFLD 1.6.1 262323	0x10

Figura 62

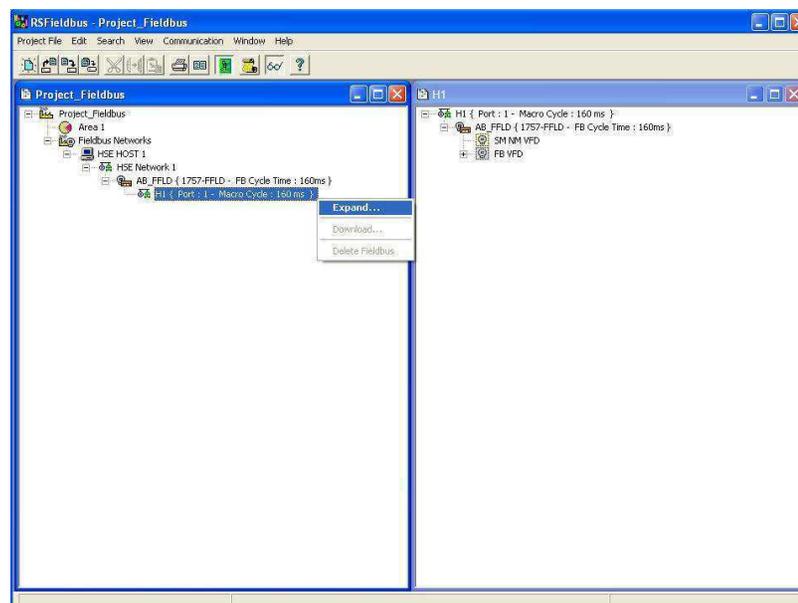


Figura 63

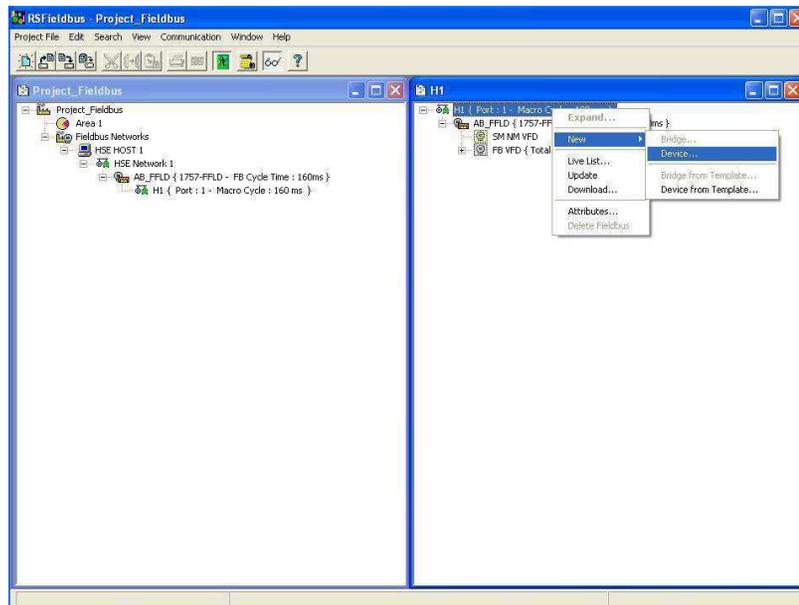


Figura 64

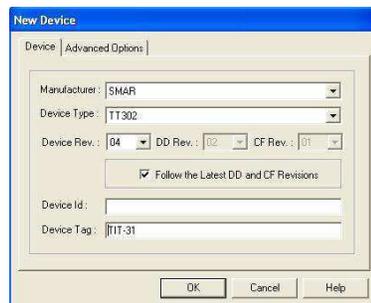


Figura 65

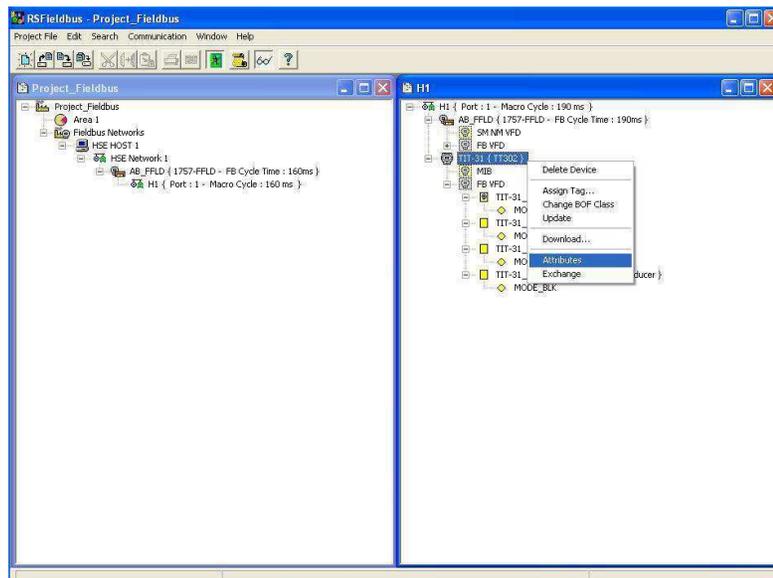


Figura 66



Figura 67

8º Passo: Depois de acrescentados todos os dispositivos de atuação e instrumentação, é feita a parametrização dos blocos de cada. Julgando necessário, pode-se ser acrescentado outros blocos aos dispositivos desejados. A parametrização pode ser feita em dois modos Online Characterization ou Offline Characterization, desde que a comunicação já esteja estabelecida.

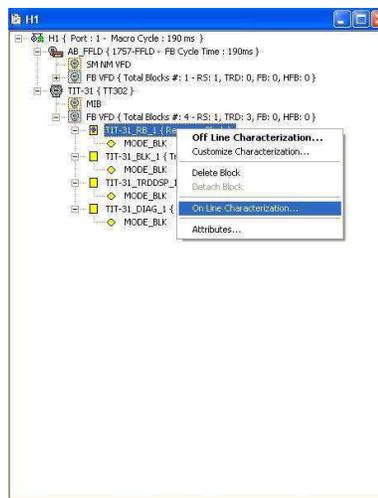


Figura 68

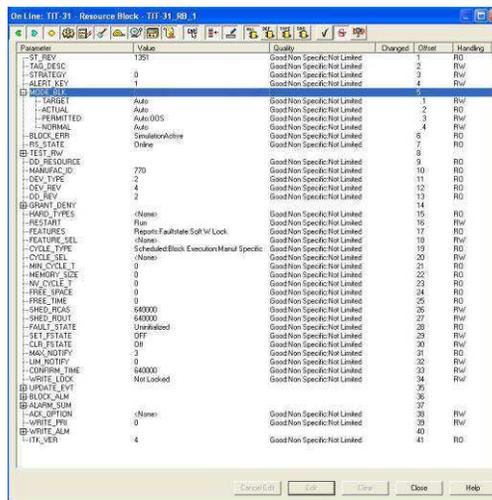


Figura 69

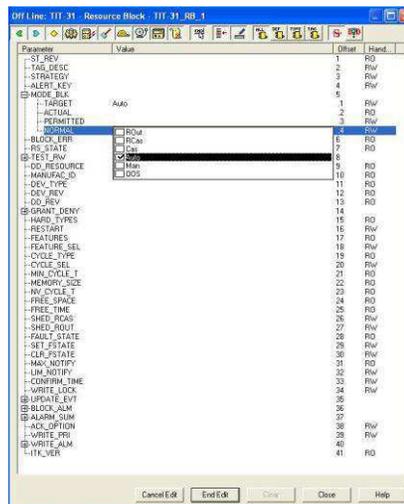


Figura 70

9º Passo: Realizada a configuração dos parâmetros de todos os dispositivos, a finalização do projeto fica a cargo da definição da estratégia de controle. Para isso, necessita-se da criação de um bloco lógico que irá associar as entradas e saídas dos dispositivos e os blocos de controle criados especificamente para a controle do processo. Primeiramente cria-se uma Process Cell, depois um Control Module e por fim, cria-se um Strategy. Então acrescenta o bloco lógico no linking device e depois anexa ele no Control Module. A partir disto, é possível desenvolver uma malha de controle com as entradas, saídas associadas e parâmetros de controle anexados no bloco lógico.

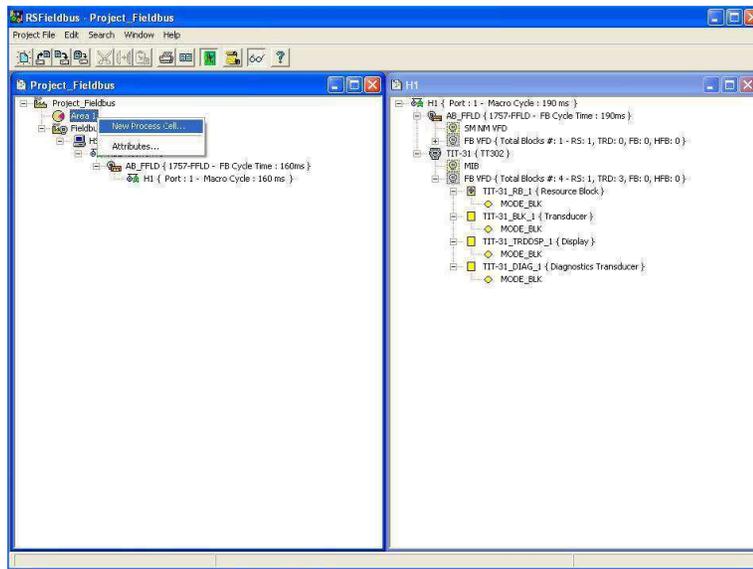


Figura 71

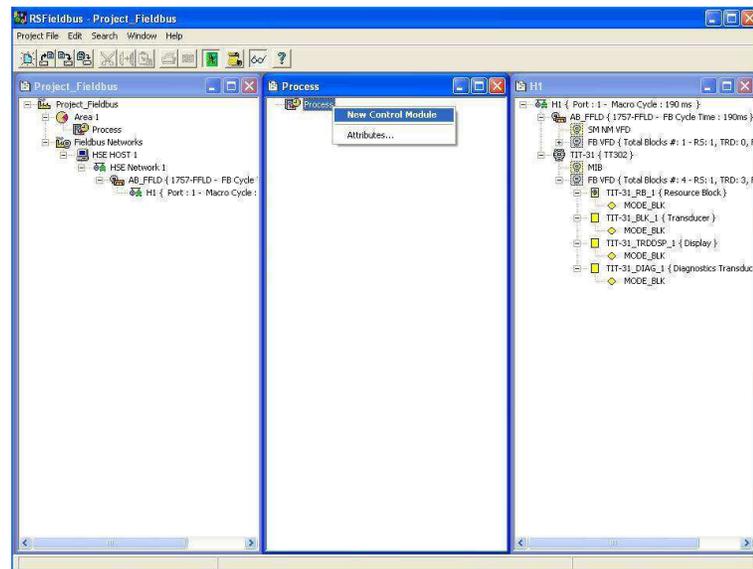


Figura 72

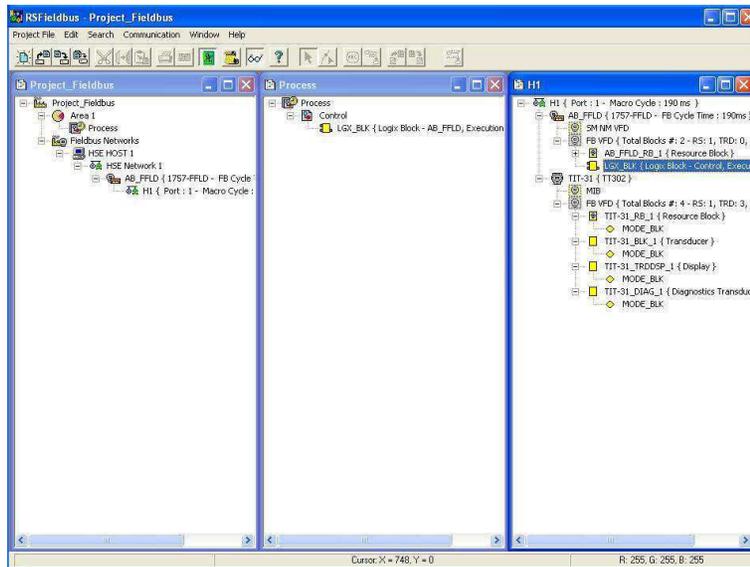


Figura 73

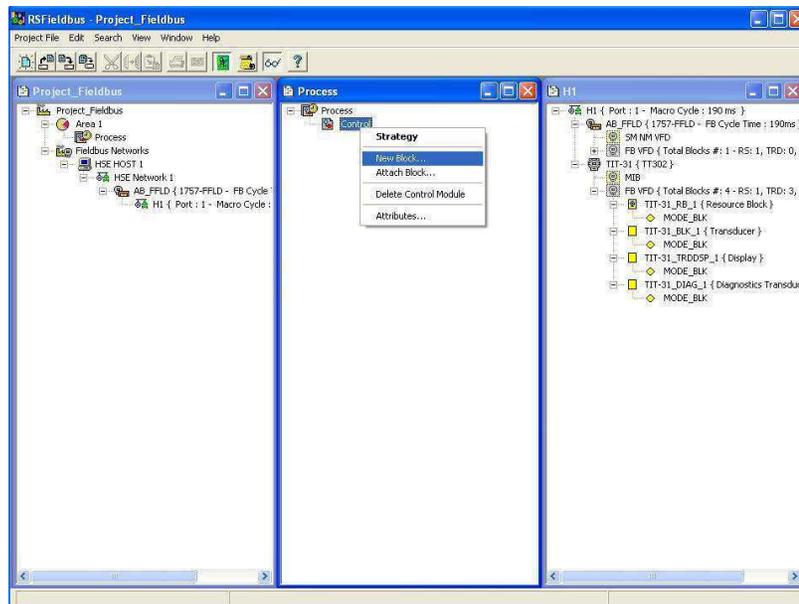


Figura 74

10º Passo: Desenvolvida a estratégia de controle, exportando as tags e adicionando a base de dados OPC.

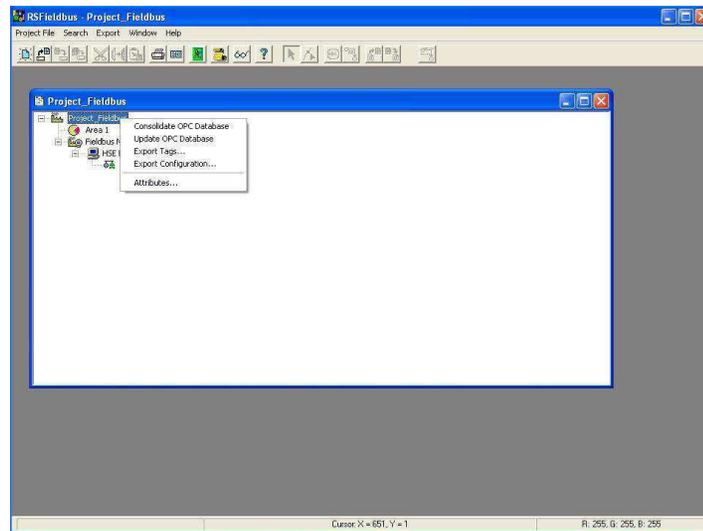


Figura 75

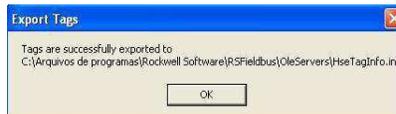


Figura 76

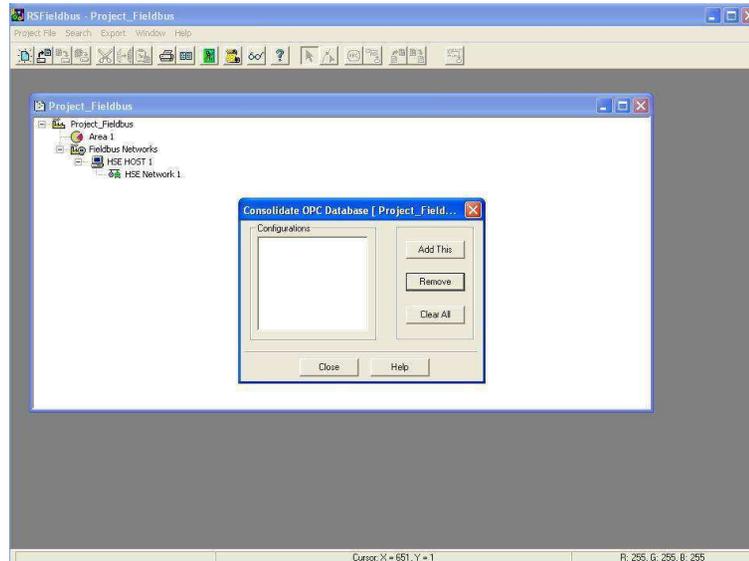


Figura 77

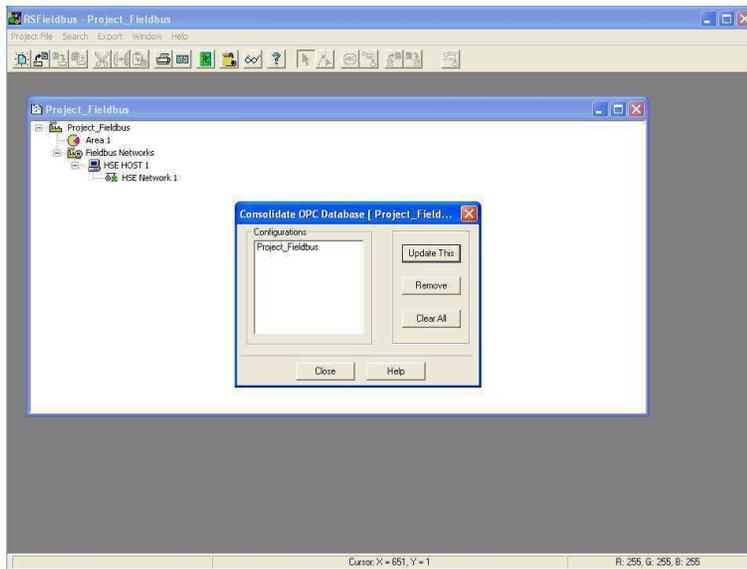


Figura 78

11º Passo: Finaliza o projeto fazendo o download do projeto para os dispositivos da rede. O download pode ser feito em sua totalidade ou por partes. Desta forma, a rede fica em operação sem a necessidade de uma estação de trabalho.

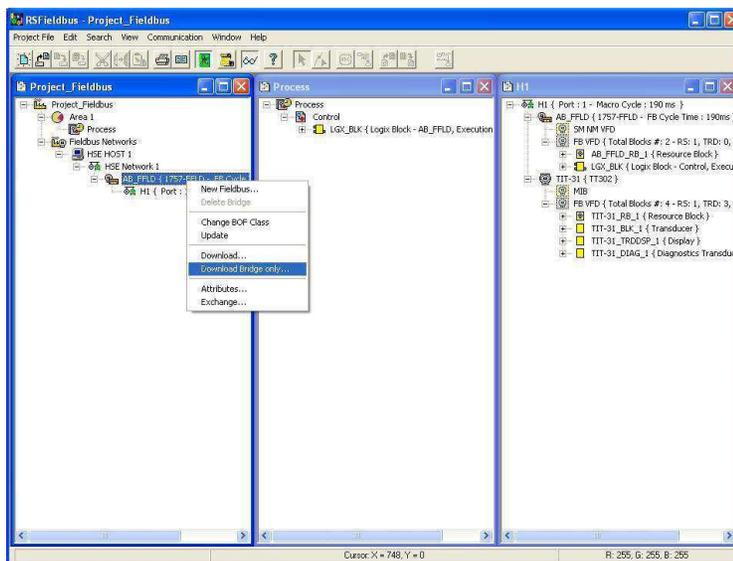


Figura 79

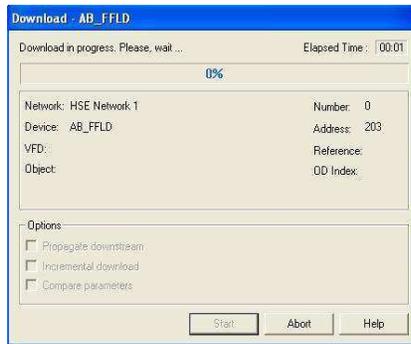


Figura 80

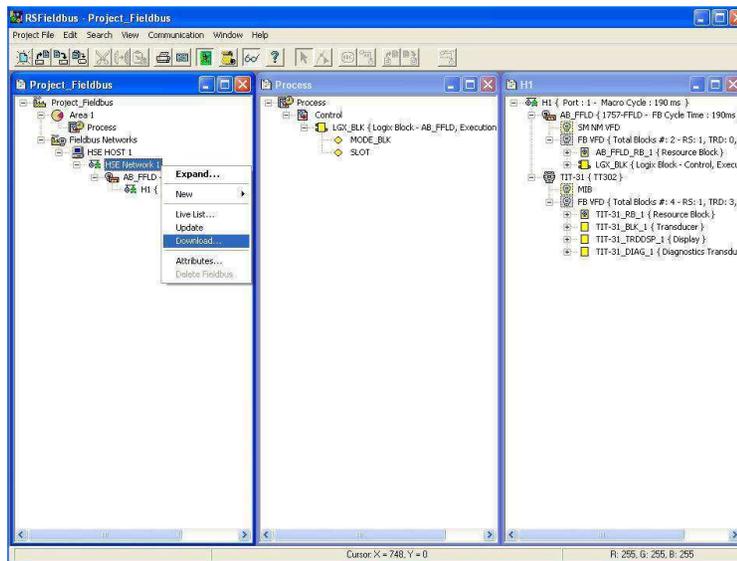


Figura 81

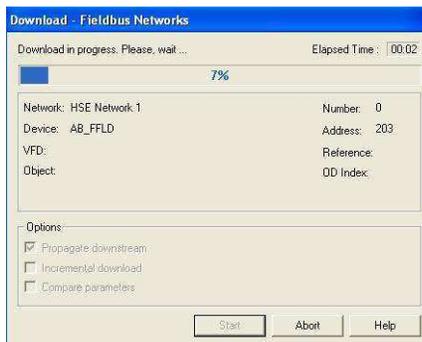


Figura 82

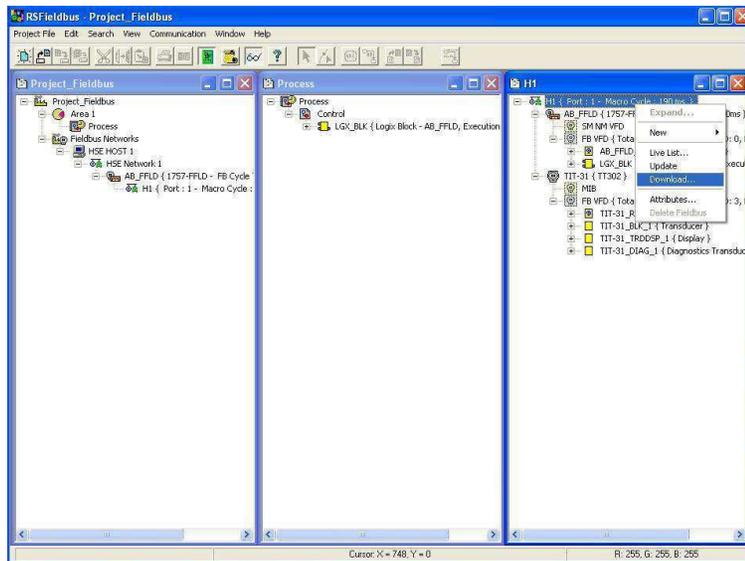


Figura 83

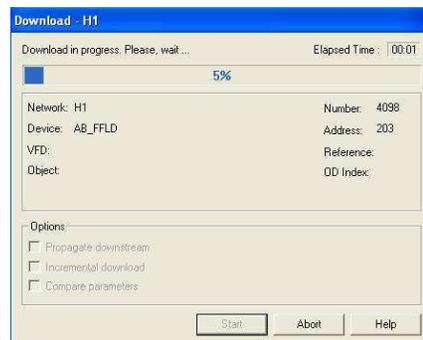


Figura 84

#### 4.2.2.2. Monitoramento

O monitoramento da rede não esteve presente no foco do trabalho desenvolvido, mas que pode ser desenvolvido semelhantemente como a configuração. Para isso, a Rockwell também desenvolveu um software chamado RSView, onde é possível criar uma IHM para supervisão do processo presente na rede.

### 4.3. Sugestões para Futuros Trabalhos

As estratégias para trabalhos futuros podem ser implementadas apenas por modificação no software de configuração ou com adição de mais válvulas de controle de vazão, basicamente

associado ao controle efetivamente aplicado ao processo. Para isso, lista-se 3 tipos de controle que pode ser aplicado na dinâmica da planta.

- Controle por Realimentação Negativa: temperatura;
- Controle em Cascata: temperatura com vazão de água fria;
- Controle Antecipativo no tanque de Aquecimento: temperatura com vazão de água fria.

#### 4.3.1. Controle por Realimentação Negativa (Temperatura)

A temperatura do tanque de mistura é mantida constante mediante o controle de água que entra neste tanque. A variável de processo é a temperatura do tanque e a variável manipulada é a válvula de entrada de água fria.

#### 4.3.2. Controle em Cascata (Temperatura com Vazão de Água Fria)

No tanque de mistura, a água quente proveniente do tanque de aquecimento é misturada com água fria para que esta se aqueça. A finalidade deste controle é manter a temperatura da água no tanque de mistura respondendo às variações de temperatura da água do tanque de aquecimento. A malha de vazão de água fria recebe como set-point, a saída do controle de temperatura do tanque de mistura provocando assim, a ação da válvula de água fria quando a temperatura for diferente da solicitada.

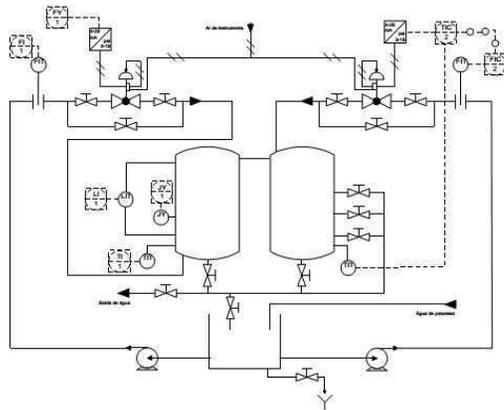


Figura 85: Controle em Cascata (Catálogo de Planta de Instrumentação SMAR)

### 4.3.3. Controle Antecipativo no Tanque de Aquecimento

A finalidade deste controle é manter a temperatura do tanque de aquecimento em um valor fixo. Um conversor de potência é o elemento final de controle. Ele é o responsável por enviar energia para um grupo de resistências elétricas para aquecer a água deste tanque. A malha principal é o de temperatura, que após efetuar o controle recebe um ganho proveniente da vazão água para acelerar a demanda de potência necessária para manter a temperatura constante. Esta estratégia garante que variações provocadas pela entrada de água no tanque de aquecimento tenha respostas rápidas.

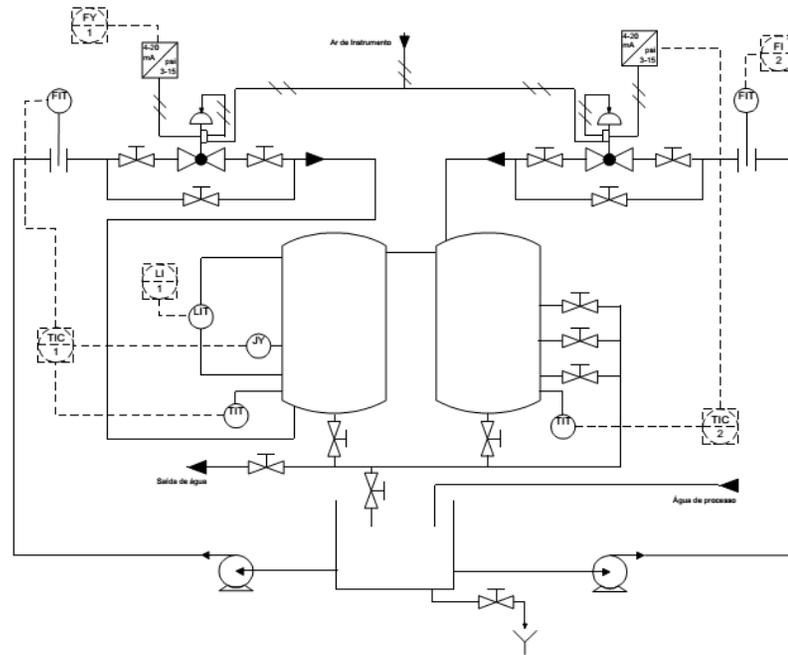


Figura 86: Controle Antecipativo (Catálogo de Planta de Instrumentação SMAR)

## **5. CONCLUSÃO**

A rede Foundation Fieldbus constitui uma alternativa para a interligação de dispositivos de campo para configuração e monitoramento, do ponto de vista de custos de implementação, uma vez que seu projeto exige menos circuitos, menos tempo de projeto ainda, devido à simplicidade, menos tempo de implementação.

A rede Fieldbus baseia-se na interconexão de dispositivos em um barramento comum, onde essa interligação pode ser feita diretamente ou através de uma derivação.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] RSFieldbus – Configuring and Programming Foundation Fieldbus Devices – Application Guide, Rockwell Automation.

[2] RSFieldbus – Configuring and Programming Foundation Fieldbus Devices – User Manual, Rockwell Automation.

[3] Foundation Fieldbus Linking Device – 1757 FFLD – User Manual, Rockwell Automation.

[4] Foundation Fieldbus, Constantino Seixas Filho, UFMG –Departamento de Engenharia Eletrônica.

[5] Fieldbus Tutorial, SMAR.

[6] Technical Overview Foundation Fieldbus, Fieldbus Foundation.

[7] Introdução a Fieldbus, José Alves do Nascimento Neto, UFCG – Departamento de Engenharia Elétrica.

[8] Foundation Fieldbus Overview, National Instruments.

[9] ARQUITETURA Foundation Fieldbus, SMAR

[10] Technical Information Foundation Fieldbus - SAMSON