

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

GUILHERME ARAUJO GUEDES

**Comunicação entre áreas remotas em um sistema de
abastecimento de água: ESTUDO DE CASO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

GUILHERME ARAUJO GUEDES

**Comunicação entre áreas remotas em um sistema de
abastecimento de água: ESTUDO DE CASO**

Monografia de Especialização,
apresentado 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.

Orientador: Prof. Me. Silvio Bortolini

CURITIBA
2016

RESUMO

Os sistemas de controle e automação industrial atuais contemplam uma variedade de paradigmas, metodologias e tecnologias de computação, comunicação e controle, em que diversos fornecedores tendem a garantir a interoperabilidade de seus componentes. Para garantir esta integração eficaz, surgiram as redes industriais, as quais são compostas por protocolos de comunicação que promovem uma operação coordenada na troca de dados, garantindo sua confiabilidade. Com o passar dos anos, a complexidade das interligações entre dispositivos e equipamentos industriais aumentou, assim como a quantidade de informações trafegadas em um barramento comum, criando a necessidade do surgimento de novas tecnologias, tais como sistemas de comunicação sem fio (*wireless*). Seguindo esta tendência do mercado de automação industrial, este trabalho objetiva definir a opção mais viável para comunicação sem fio entre áreas remotas em um Sistema de Abastecimento de Água. Para tal, buscou-se trazer as principais informações sobre os protocolos de comunicação mais utilizados no mercado industrial e, de posse destas, realizou-se um cruzamento com as solicitações realizadas pela empresa contratante do projeto. Verificou-se que, para cada aplicação, existe mais de uma opção de solução no que diz respeito a escolha da rede industrial, sendo que a decisão final é baseada nas características inerentes a cada projeto.

Palavras-chave: Sistemas de comunicação *wireless*, Telemetria, Comunicação entre áreas remotas, Topologias de automação para saneamento.

ABSTRACT

Current industrial automation systems include a variety of paradigms, methodologies and computing technologies, communication and control, in a way that suppliers are likely to ensure interoperability of its components. To guarantee this effective integration, industrial networks, which are composed of communication protocols that promote a coordinated operation in data exchange, ensuring its reliability, were originated. Over the years, the complexity of interconnections between industrial devices and equipment increased, just as the traffic of information in a common bus, creating the necessity of new technologies, such as wireless communication systems. To be a part of this tendency in the industrial automation market, this study expects to define the most viable option for wireless communication between remote areas in a water supply system. In order of that, key information about the communication protocols most commonly used in the industrial market were brought to perform a link with the requests made by the contractor of the project. It was noticed that there is more than one option of solution in industrial network choices for each application, and the final decision is based on the inherent characteristics of each project.

Keywords: Wireless communication systems, Telemetry, Communication between remote areas, Automation topologies for sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Automação de processos com tecnologia WirelessHART	10
Figura 2- Níveis da pirâmide de automação e as redes industriais	15
Figura 3: Camadas do modelo OSI	16
Figura 4: Cabo coaxial	19
Figura 5: Cabo de par trançado.....	19
Figura 6: Fibra óptica	20
Figura 7: Comunicação <i>simplex</i> (a), <i>half-duplex</i> (b) e <i>full- duplex</i> (c).....	20
Figura 8: Topologia ponto a ponto.....	22
Figura 9: Topologia de barramento	22
Figura 10: Topologia em anel.....	23
Figura 11: Topologia em estrela.....	23
Figura 12: Topologia em árvore	24
Figura 13: Sistema mestre/escravo.....	25
Figura 14: Sistema produtor/consumidor	26
Figura 15: Utilização de redes industriais no mercado global	28
Figura 16: Arquitetura típica de uma rede PROFIBUS.....	29
Figura 17: Exemplo de rede DeviceNet.....	30
Figura 18: Exemplo de instalação em rede CANOpen.....	32
Figura 19: Protocolos tradicionais e seus níveis de aplicação para Ethernet.....	33
Figura 20: Construção de pacote de dados Modbus TCP	34
Figura 21: Configuração típica de rede Ethernet/IP	36
Figura 22: Transferência de dados EtherCAT	37
Figura 23: Exemplo de interação entre PROFINET e outros protocolos de comunicação através de proxies	38
Figura 24: Localização da cidade de Ibaiti/PR	43
Figura 25: Áreas do Sistema de Abastecimento de Água	43
Figura 26: Planta geral do Sistema de Abastecimento de Água	44
Figura 27: Enlaces de comunicação sem fio	46
Figura 28: Comparativo entre os meios cabeados de transmissão de dados	51
Figura 29: Comparativo entre meios de comunicação mais usados em projetos de saneamento.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos protocolos de comunicação wireless	39
Tabela 2: Enlace entre CR e Poço 01	44
Tabela 3: Enlace entre CR e Poço 03	45
Tabela 4: Enlace entre CR e ETA	45
Tabela 5: Requisitos de comunicação de sistemas de automação industrial.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ADU	<i>Modbus TCP Application Data Unit</i>
ASCII	<i>American Code for Information Interchange</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CAT	<i>Control Automation Techonology</i>
CIP	<i>Common Industrial Protocol</i>
COS	<i>Change of State</i>
COPEL	<i>Companhia Paranaense de Energia</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection</i>
CTDMA	<i>Concurrent Time Domain Multiple Access</i>
DP	<i>Distributed Peripherals</i>
ETA	<i>Estação de Tratamento de Água</i>
FMS	<i>Fieldbus Message Specifications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
IEC	<i>International Electrotechical Comission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Eletronics Engineers</i>
IP	<i>Industrial Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MBAP	<i>Modbus Application Protocol</i>
MBPS	<i>Megabit por Segundo</i>
ODVA	<i>Open DeviceNet Vendors Association</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PA	<i>Process Automation</i>
PDO	<i>Process Data Object</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SAA	<i>Sistema de Abastecimento de Água</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
WISA	<i>Wireless Interface for Sensors and Actuators</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	PROBLEMA	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	JUSTIFICATIVA	12
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2	REDES INDUSTRIAIS	14
2.1	FUNDAMENTOS DE REDES	15
2.1.1	Modelo OSI – <i>Open Systems Interconnection</i>	15
2.1.1.1	Camada física	16
2.1.1.2	Camada de ligação	17
2.1.1.3	Camada de rede	17
2.1.1.4	Camada de transporte	17
2.1.1.5	Camada de sessão	18
2.1.1.6	Camada de apresentação	18
2.1.1.7	Camada de aplicação	19
2.1.2	Meio físico de transmissão	19
2.1.3	Elementos de comunicação	21
2.1.4	Topologias de rede	21
2.1.5	Acesso ao meio	24
2.1.5.1	Método de acesso ao meio	24
2.1.5.2	Algoritmo de acesso ao meio	26
2.2	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	27
2.2.1	PROFIBUS - PROcess Field BUS	28
2.2.2	DeviceNet	30
2.2.3	Modbus	31
2.2.4	CANOpen	31
2.2.5	Modbus/TCP	33
2.2.6	Ethernet/IP	35
2.2.7	EtherCAT	36
2.2.8	PROFINET	37
2.2.9	<i>Wireless</i>	38
2.2.9.1	IEEE 802.16	39
2.2.9.2	IEEE 802.11	40
2.2.9.3	IEEE 802.15	40
3	ESTUDO DE CASO	42
3.1	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	42
3.1.1	Requisições do projeto	44
3.1.2	Rede de campo	47
3.1.3	Meio de comunicação	49
3.1.3.1	Rádio modem	49
3.1.3.2	Linhas privadas digitais	50
3.1.3.3	Linhas físicas	50
3.1.3.4	Tecnologia celular	51
3.1.3.5	Linhas privadas virtuais	51
3.1.4	Topologia de automação	53
4	CONCLUSÃO	57

REFERÊNCIAS.....	59
ANEXO 1 - SWITCH.....	64
ANEXO 2 – INTERFACE HOMEM-MÁQUINA.....	65
ANEXO 3 – RÁDIO-MODEM ETHERNET.....	66
ANEXO 4 – MÓDULO DE EXPANSÃO DE ENTRADAS ANALÓGICAS.....	67
ANEXO 5 – MÓDULO DE EXPANSÃO DE ENTRADAS ANALÓGICAS.....	68
ANEXO 5 – CONTROLADOR LÓGICO-PROGRAMÁVEL.....	69

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de controle e automação industrial atuam na operação e no controle de sistemas de produção, sendo compostos por componentes micro processados, tais como sensores, atuadores, controladores lógico-programáveis, interfaces homem-máquina, *switches*, inversores de frequência, entre outros. Estes equipamentos executam tarefas específicas de monitoramento e regulação de grandezas físicas como temperatura, pressão e vazão. Em um processo industrial, para garantir o funcionamento desejado, as informações obtidas a partir destas grandezas físicas devem se comunicar, a nível de software, através de uma rede de comunicação. Desta forma, para garantir a confiabilidade nestas trocas de dados, deve existir uma operação coordenada - fez-se necessário a criação de mecanismos para integração eficaz dos componentes, muitas vezes de fornecedores diversos, e suas informações (LUGLI; SANTOS, 2011).

Neste sentido, surgiram as redes industriais, as quais são constituídas de protocolos de comunicação com a finalidade de transportar sinais que trafegam sob um barramento de comunicação comum, para a interligação de tarefas, com o intuito de controlar processos industriais. Cada tecnologia de rede industrial possui diferentes propriedades em relação ao protocolo, mecanismos de acesso ao meio e taxas de propagação, sendo definidas conforme requisitos da aplicação final (LUGLI; SANTOS, 2011).

Com o passar dos anos, dada a complexidade das interligações entre dispositivos e equipamentos industriais, a quantidade de informações trafegadas nos barramentos comuns, citados anteriormente, vem aumentando consideravelmente, criando a necessidade de novas tecnologias para sistemas de comunicação. Neste sentido, a utilização de sistemas de comunicação sem fio (*wireless*) vem se destacando e expandindo (LUGLI; SOBRINHO, 2012). Segundo Flowers et. al (2006), fomentam o avanço nos estudos nesse tipo de tecnologia os seguintes diferenciais: redução no tempo de instalação; economia para montagem em campo; ausência de necessidade de criação de infraestrutura para instalação; possibilidade de instalação em locais de difícil acesso, entre outros.

Conforme traz a Revista Mecatrônica Atual (2005), as vantagens citadas garantem uma vasta gama de aplicações no que se refere ao controle industrial, seja

em ambientes fechados, como indústrias automobilísticas, ou em ambientes abertos, como instalações utilizadas por sistemas de saneamento básico. Uma aplicação básica para indústrias de saneamento é o monitoramento do nível de tanques e o envio do sinal, à distância, para um sistema de controle central - aplicação esta que será o objeto deste estudo.

Este trabalho dedicar-se-á a discutir a implementação de um sistema de comunicação *wireless* entre áreas remotas em um Sistema de Abastecimento de Água – SAA, localizado na cidade de Ibaiti, no estado do Paraná.

A Figura 1 mostra um exemplo de automação de processos com a utilização de tecnologia *wireless*.

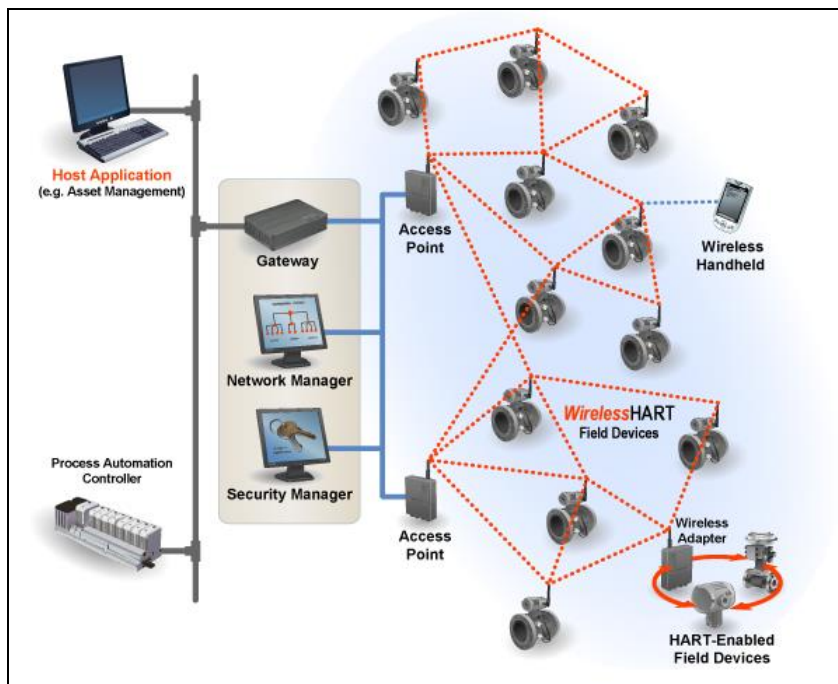


Figura 1 - Automação de processos com tecnologia WirelessHART
Fonte: FieldComm Group, 2016

1.1 PROBLEMA

Os requisitos industriais em aplicações sem fio possuem exigências elevadas sobre a comunicação, sendo fundamental que a mesma seja confiável e robusta, possua recursos avançados de segurança, permita a operação de ferramentas de automação, forneça informações em tempo real e tenha comportamento determinístico (LUGLI; SOBRINHO, 2012). Logo, a problemática

deste trabalho envolve a necessidade de prover um sistema de comunicação confiável em uma aplicação em que a utilização da tecnologia mais usual, via barramento comum (cabos), acaba tornando-se inviável devido às grandes distâncias entre centro de controle e instalações em campo.

Além disso, a evolução da utilização de tecnologia *wireless* fez aumentar as possibilidades de protocolos de comunicação em rede sem fio a serem utilizados. Faz-se necessário verificar dentre as principais opções, qual melhor se adaptará a aplicação final do projeto, baseando-se principalmente, conforme Arthas (2004), em alcance e taxa de transferência empregada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Definir a solução de comunicação *wireless*, entre áreas remotas, mais adequada para implementação em um Sistema de Abastecimento de Água – SAA, levando em consideração características do projeto e particularidades inerentes dos protocolos de comunicação em rede sem fio.

1.2.2 Objetivos Específicos

De modo a atingir o objetivo geral deste trabalho, buscar-se-á a realização das seguintes etapas:

- Descrever quais são os principais protocolos de comunicação em uso em processos industriais, seja em tecnologia com ou sem fio.
- Estudar características do projeto elétrico e de automação utilizado como base para este trabalho.
- Propor soluções para a comunicação entre áreas remotas no Sistema de Abastecimento de Água a ser estudado, considerando vantagens e desvantagens.

- Comparar as soluções propostas com a solução definida pela empresa contratante do projeto, buscando concluir as razões desta escolha.

1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização da comunicação sem fio vem se expandindo nas plantas industriais de diferentes segmentos. Esta expansão é acompanhada de muitos investimentos de pesquisa e desenvolvimento tanto para fabricantes de produtos de automação quanto para a área acadêmica (SEABRA; LUGLI, 2014).

Seguindo a tendência de expansão da utilização da tecnologia sem fio na indústria, este trabalho, ao atender os objetivos propostos, oferecerá informações pertinentes no que diz respeito a protocolos de comunicação, em redes com ou sem fio, aplicados a automação industrial, podendo servir como base para a tomada de decisões para profissionais atuantes no setor.

Além disso, ao apresentar um estudo de caso, será possível verificar quais são as dificuldades encontradas na definição da rede industrial a ser utilizada e quais são os critérios a serem levados em consideração para esta escolha.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

De modo a atingir seus objetivos, o trabalho será apresentado com a seguinte estrutura:

- Capítulo 01: capítulo introdutório com o objetivo de contextualizar o tema a ser analisado e expor um estudo de caso que deve ser trabalhado. A partir da apreciação do caso exposto, define-se a problemática principal e as etapas (objetivos) a serem cumpridas para sua resolução. Por fim, apresenta-se a relevância deste estudo para sua área de conhecimento.

- Capítulo 02: serão abordados os conhecimentos teóricos acerca das redes industriais e seus protocolos de comunicação - referencial bibliográfico necessário para compreensão do trabalho.

- Capítulo 03: neste capítulo, apresenta-se detalhadamente o estudo de caso (Projeto de um Sistema de Abastecimento de Água, na cidade de Ibaiti - estado do Paraná), expondo possíveis soluções para o problema exposto. Desta forma,

buscar-se-á entender qual a razão da definição de solução para parte da empresa responsável pelo projeto.

- Capítulo 04: para encerrar o trabalho, remete-se aos problemas levantados e aos objetivos traçados no Capítulo 01, apontando se os mesmos foram, respectivamente, solucionados e alcançados. Além disto, serão sugeridos trabalhos futuros que podem ser realizados a partir deste estudo.

2 REDES INDUSTRIAIS

Seguindo uma tendência global de evolução na comunicação em praticamente todos os ramos de atividade, as redes industriais, dentre todas as tecnologias associadas ao controle industrial, foram as que sofreram as maiores evoluções recentes (BORGES, 2007).

Atualmente, as redes industriais permitem uma troca de dados em tempo real e com alto grau de confiabilidade – fatores indispensáveis no conceito de produtividade industrial. Dentro deste conceito, a eficiência do processo e a excelência operacional estão relacionadas à interligação de diferentes níveis hierárquicos dos sistemas de automação, através do uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes de comunicação (BORGES, 2007). Conforme Corrêa (2003), através da Figura 2, é possível identificar a composição completa de um sistema de automação industrial:

- Nível 1: Composto por dispositivos que interagem diretamente com o processo, tais como sensores e atuadores; possui baixo volume de dados e elevada dinâmica.
- Nível 2: Localizam-se as unidades de controle com estruturas de dados completas e grande interação entre dispositivos.
- Nível 3: Composto por equipamentos/sistemas de supervisão. Normalmente este nível possui um banco de dados com informações relativas ao processo.
- Nível 4: Responsável pela programação e pelo planejamento da produção, este nível é composto por sistemas de gestão com grande quantidade de dados.
- Nível 5: Sistemas maciços de dados que realizam a administração dos recursos de uma empresa – gestão financeira e de vendas, por exemplo.

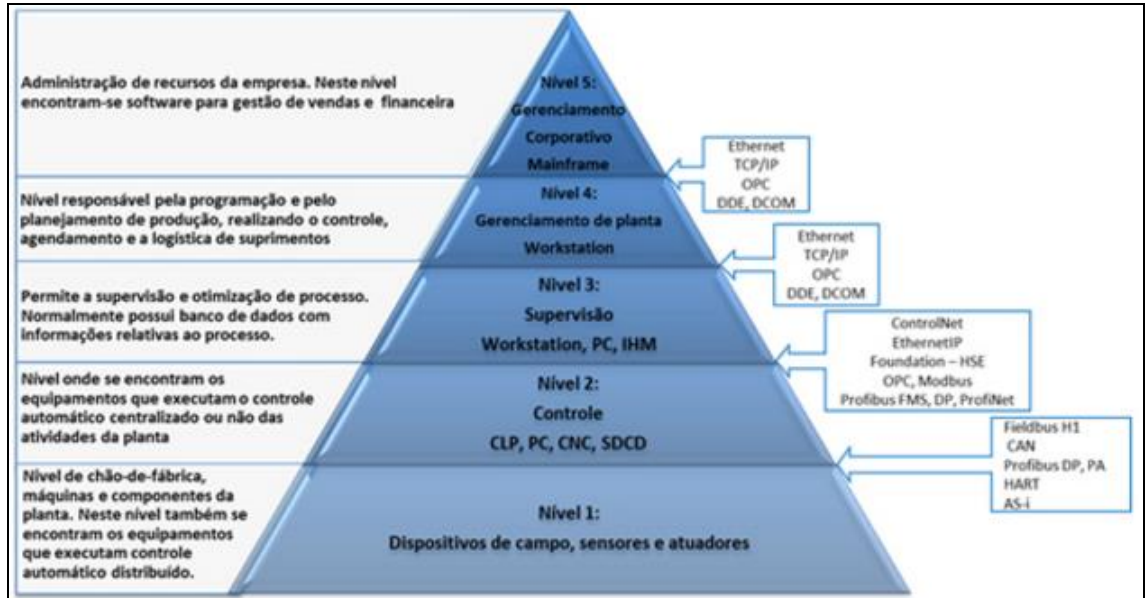


Figura 2- Níveis da pirâmide de automação e as redes industriais
Fonte: CASSIOLATO, 2011

2.1 FUNDAMENTOS DE REDES

A comunicação entre níveis de um sistema de automação é possibilitada pela utilização de protocolos para a determinação de regras na comunicação. Este tópico buscará fundamentar quais são estas regras que caracterizam o funcionamento das redes industriais.

2.1.1 Modelo OSI – *Open Systems Interconnection*

Com o intuito de uniformizar os padrões e modelos adotados pelos protocolos de rede, a *International Organization for Standardization* - ISO desenvolveu o Modelo OSI. Este modelo, cujo objetivo é referenciar o desenvolvimento de padrões de comunicação de dados através da descrição de serviços necessários para a transmissão de dados, é formado por sete camadas conforme demonstra Figura 3, cada qual com um objetivo definido e uma interface de comunicação com as camadas adjacentes (CÔRREA, 2003).

Segundo Lopez (2000), quando do desenvolvimento do padrão OSI, a definição da quantidade de camadas que o modelo deveria ter se deu através do cumprimento dos seguintes princípios:

- O caminho de comunicação entre o usuário e o canal de transmissão passa através das sete camadas.
- Cada camada realiza uma função limitada de comunicação.
- As interfaces entre as camadas são específicas. A interface define quais operações e serviços existem.
- Cada camada oferece serviços específicos para a próxima camada. As camadas mais altas enviam um pacote consistindo de dados e demandas para serviços.
- Um serviço representa a operação que uma camada pode realizar para a camada superior. Os serviços são realizados de acordo com um protocolo. Para o usuário de um serviço, o protocolo executado não é importante.
- Um sistema de comunicação não é obrigado a implementar as sete camadas do modelo.



Figura 3: Camadas do modelo OSI
Fonte: NOGUEIRA, 2009

Dentro destas exigências, apresentam-se as principais funções de cada camada.

2.1.1.1 Camada física

Esta camada fornece características elétricas, mecânicas, funcionais e uma relação de procedimentos para controlar as conexões físicas na transmissão de bits entre as entidades do nível de enlace. Sua principal é permitir o envio de uma cadeia de bits pela rede, sem levar em consideração o significado ou a forma de

agrupamento dos bits. Vale ressaltar que não há nessa camada nenhum tratamento de erros de eventuais erros de transmissão (CORRÊA, 2003).

Os níveis físicos mais utilizados são: cabos de pares trançados, padrão RS-485 ou IEC 1185-2; cabos coaxiais; fibras ópticas e tecnologias *wireless* (rádio, por exemplo).

2.1.1.2 Camada de ligação

As finalidades básicas das implementações do protocolo desta camada são: realizar a detecção e, opcionalmente, a correção dos erros que possam ter ocorrido no meio físico, garantindo a transmissão de dados confiáveis para as camadas subsequentes; controlar o fluxo de dados para seu receptor de modo a evitar que este receba mais dados do que é capaz de processar; organizar os bits da camada física em grupos lógicos de informações chamados *frames* (um *frame* é uma série contínua de bits agrupados como uma unidade de dados); identificar os dispositivos de rede (CORRÊA, 2003).

2.1.1.3 Camada de rede

A função principal da camada de rede é mover os dados para localizações específicas, definindo rotas e maneiras pelas quais esses dados se movimentam pela rede. Também é a camada em que a rede industrial decide como realizará certas funções de gerenciamento, tais como enviar mensagens de status para os nós e regular o fluxo de pacotes (CORRÊA, 2003).

2.1.1.4 Camada de transporte

A camada de transporte tem como função garantir a entrega das mensagens sem erros, em sequência, sem perdas e sem duplicações. Cabe a ela eliminar qualquer preocupação dos protocolos de camadas superiores em relação à transferência de dados entre seus pares (MICROSOFT CORPORATION, 2013).

Segundo artigo técnico da Microsoft Corporation (2013), o cumprimento de suas funções se dá através dos seguintes procedimentos:

- Segmentação de mensagens: recebe a mensagem da camada de sessão. Caso a mesma não seja suficientemente pequena, é dividida em mensagens menores e transmitidas até a camada de rede. Na estação de destino, a camada de transporte remonta a mensagem.
- Confirmação de mensagens: confirmação da entrega completa de mensagens.
- Controle do tráfego de mensagens: instrui a estação de transmissão a se "retirar" quando não houver *buffers* de mensagens disponíveis.
- Multiplexação de sessões: transmissão em simultâneo de vários fluxos de mensagens, controlando quais mensagens pertencem a quais sessões.

2.1.1.5 Camada de sessão

Camada responsável pela definição referente à maneira em que ocorrerá o estabelecimento/encerramento das conexões e de qual maneira os dados serão trocados em rede, facilitando a comunicação entre fornecedores e solicitantes de serviços (MICROSOFT CORPORATION, 2013).

2.1.1.6 Camada de apresentação

Nesta camada, os dados são formatados para serem apresentados na camada de rede. É possível afirmar que esta camada é considerada um tradutor de rede, convertendo dados de um formato usado pela camada de aplicativo em um formato comum na estação de envio e, em seguida, convertendo esse formato comum em um formato conhecido pela camada de aplicativo na estação de recepção (MICROSOFT CORPORATION, 2013).

2.1.1.7 Camada de aplicação

Enquanto as seis camadas já citadas incluem tarefas e tecnologias para suporte dos serviços de rede, a camada de aplicação fornece tópicos e funções específicas para cada serviço de rede. Pode-se considerar que esta é uma camada final responsável pela definição de como os aplicativos entram no Modelo OSI para a transmissão (CORRÊA, 2003).

2.1.2 Meio físico de transmissão

A existência de comunicação entre dois dispositivos está condicionada a existência de um meio de contato entre eles. Basicamente, existem dois grupos de meios físicos de comunicação, o primeiro utiliza condutores e o segundo é baseado em tecnologia sem fio (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

Quando da utilização de condutores, os cabos são constituídos de cobre ou fibra óptica. Nos cabos de cobre – coaxial (Figura 4), par trançado (Figura 5) ou paralelo - o sinal é transmitido como um impulso elétrico. Por sua vez, em fibras ópticas (Figura 6), o sinal é conduzido como um impulso luminoso (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

Em locais onde há dificuldade de instalação para cabos ou fibras ópticas, soluções sem fio devem ser levadas em consideração. A confiabilidade das informações obtidas, a capacidade do tráfego de informações, a segurança das informações trafegadas, a robustez e a capacidade de interação com uma eventual rede cabeada já instalada fazem com este tipo de tecnologia ganhe espaço junto ao mercado consumidor (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

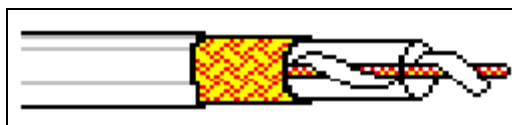


Figura 4: Cabo coaxial
Fonte: NOGUEIRA, 2009



Figura 5: Cabo de par trançado

Fonte: NOGUEIRA, 2009



Figura 6: Fibra óptica
Fonte: NOGUEIRA, 2009

A forma de utilização do meio físico dá origem, conforme Reynders, Mackay e Wright (2005), a seguinte classificação sobre a comunicação no enlace, conforme também pode ser verificado na Figura 7:

- *Simplex*: o enlace é utilizado apenas em um dos dois possíveis sentidos de transmissão.
- *Half-duplex*: o enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão, porém apenas um por vez.
- *Full-duplex*: o enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão simultaneamente.

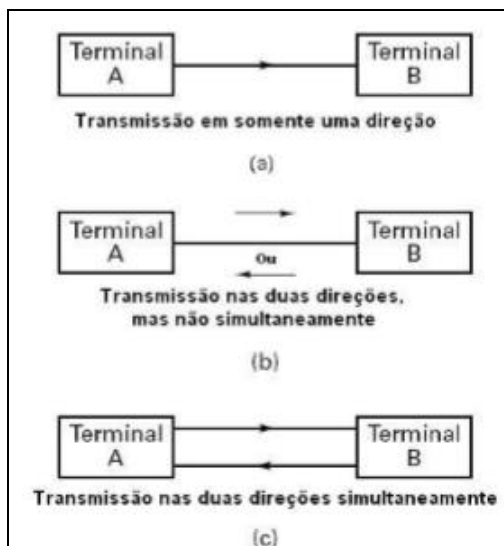


Figura 7: Comunicação *simplex* (a), *half-duplex* (b) e *full-duplex* (c)
Fonte: NOGUEIRA, 2009

2.1.3 Elementos de comunicação

A conexão via cabo na grande maioria das redes industriais não é suficiente para conectar todos os nós da rede. Existe a necessidade de equipamentos adicionais na rede, tais como repetidores, *bridges*, roteadores e *gateways*, de modo a atingir requisitos de desempenho (CÔRREA, 2003).

Os repetidores são aparelhos que amplificam o sinal para que possam ser transmitidos entre nós afastados. Além de possibilitar o aumento da quantidade de nós na rede, este aparelho permite acoplar diferentes tipos de meios físicos, como um cabo coaxial em uma fibra óptica (CÔRREA, 2003).

As bridges permitem a conexão entre duas redes que possuem diferentes características elétricas e de codificação. Em resumo, é o equipamento que pode interconectar duas redes desiguais fazendo com que os aplicativos possam distribuir informações através dele (CÔRREA, 2003).

Os roteadores são equipamentos que fazem o papel de intermediadores, possibilitando a troca de pacotes entre redes separadas (CÔRREA, 2003).

Por fim, os gateways promovem a interoperabilidade para que redes incompatíveis, até mesmo do ponto de vista da arquitetura (entre redes OSI e redes não OSI), consigam estabelecer uma conexão (CÔRREA, 2003).

2.1.4 Topologias de rede

Com o crescimento dos sistemas industriais e, por consequência, o aumento de número de componentes da rede, a questão da topologia de rede passou a ser um aspecto a ser observado. A topologia de rede descreve como é estruturada uma rede e de qual maneira os dispositivos a ela conectados estão dispostos (CÔRREA, 2003).

As topologias podem ser descritas de maneira física e lógica – enquanto a topologia física é a verdadeira aparência da rede, a lógica, por sua vez, descreve como ocorre o fluxo de dados através da rede (CÔRREA, 2003). Na sequência, estão descritas, conforme definições de Moraes e Castrucci (2007), as topologias mais comuns.

- Ponto a ponto (Figura 8): Topologia composta por uma ou diversas linhas de comunicação, sendo que cada linha é associada à conexão de um par de estações. Quando há necessidade de comunicação entre estações sem compartilhamento de cabos, a comunicação é feita de modo indireto, através de uma terceira estação – a mensagem é enviada de uma estação a outra de forma indireta, ela será recebida integralmente por cada estação e, uma vez que a linha de saída da estação esteja livre, retransmitida à estação seguinte.

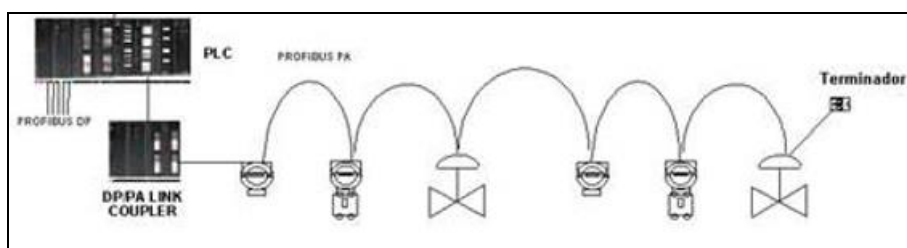


Figura 8: Topologia ponto a ponto
Fonte: SMAR, 2004

- Barramento (Figura 9): Todos os componentes da rede utilizam-se de um mesmo meio físico de comunicação. Permitem com que sinais trafeguem em duas direções e possuem restrições de distância e número de derivações para manter a integridade do sinal.

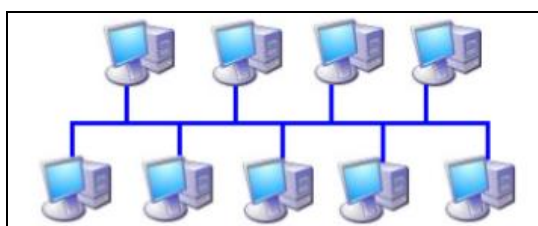


Figura 9: Topologia de barramento
Fonte: NOGUEIRA, 2009

- Tipo anel (Figura 10): Cada dispositivo conecta-se, através de interface e cabo trançado, diretamente ao anel. A informação é transmitida em apenas uma direção, sendo que cada dispositivo incorpora um receptor no cabo de entrada e um transmissor no cabo de saída – em cada nó ocorre a repetição do sinal recebido e a adição da própria informação.

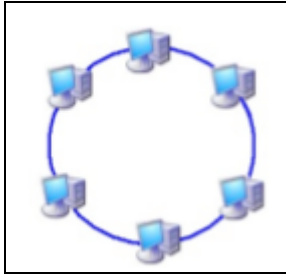


Figura 10: Topologia em anel
Fonte: NOGUEIRA, 2009

- Tipo estrela (Figura 11): esta topologia utiliza da conexão dos dispositivos a um nó principal com funções especiais – um ponto central para conexões bidirecionais com cada nó. Cada dispositivo da rede é conectado através de ligação ponto a ponto com o dispositivo concentrador.

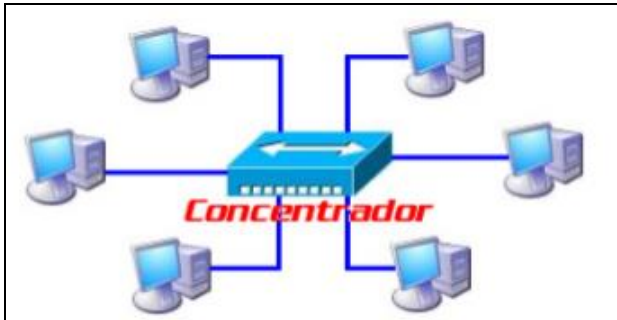


Figura 11: Topologia em estrela
Fonte: NOGUEIRA, 2009

- Tipo árvore (Figura 12): a topologia tipo árvore situa-se entre as topologias anel e estrela. Esta estrutura permite bifurcações, mas, ao mesmo tempo, os nós podem ser conectados em série a um ramal. Por outro lado, a estrutura pode ser formada por único ramal, como um anel, porém com nós conectados em paralelo ao invés de em série.

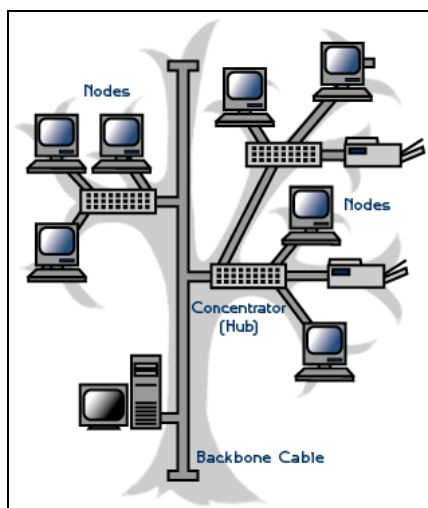


Figura 12: Topologia em árvore
 Fonte: SMAR, 2004

- Tipo malha: possui conexão ponto-a-ponto entre cada dispositivo da rede, sendo que cada dispositivo necessita de interface com todos os outros da rede. Em caso de falha, a rede total continua em operação e a localização é fácil.

2.1.5 Acesso ao meio

As características de rede, demonstradas nas sessões anteriores, definem os atributos técnicos necessários para um bom funcionamento da rede. Particularmente, a topologia da rede é responsável por definir, entre outras obrigações, o grau de complexidade com que os nós de comunicação acessam o meio físico de transmissão. As topologias utilizam de regras específicas que controlam o momento em que os dispositivos de rede pode transmitir os dados – a este processo controle é dado o nome de acesso ao meio (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

2.1.5.1 Método de acesso ao meio

O método de acesso ao meio é o gerenciamento entre os pontos de comunicação da rede, os chamados nós, no que diz respeito a comunicação de dados. Existem dois métodos, os *quais* descritos na sequência (LIMA, 2004).

No sistema mestre/escravo, ilustrado na Figura 13, há total dependência da estação central chamada mestre. Esta estação distribui direito de acesso ao meio

físico para as estações escravas durante determinado intervalo de tempo – estações escravas são periféricos que recebem informações do processo e/ou utilizam informações de saída do mestre para atuação na planta (LOPEZ, 2000). Este sistema, segundo Moraes e Castrucci (2007), pode ainda subdividir-se em:

- Monomestre: Há somente um mestre no barramento durante a operação – geralmente o CLP. Os escravos são acoplados de maneira descentralizada no barramento através do meio de transmissão de dados.

- Multimestre: A imagem das entradas e saídas pode ser lida por todos os mestres, porém somente um mestre pode controlar um dado escravo.

Tal método de acesso ao meio garante um tempo entre transmissões consecutivas a qualquer estação da rede, pela realização de um controle distribuído com supervisão centralizada (LOPEZ, 2000).

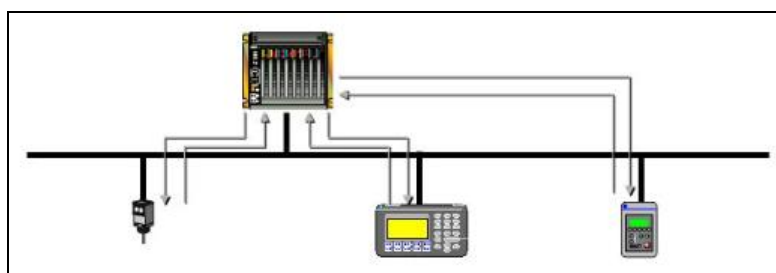


Figura 13: Sistema mestre/escravo
Fonte: FILHO, 2005

Por sua vez, no sistema produtor/consumidor, mostrado na Figura 14, as mensagens que trafegam no barramento comum possuem um identificador único, origem ou destino. Na prática, múltiplos nós – produtores – podem transmitir dados para outros nós – consumidores. É possível também que alguns nós assumam simultaneamente as funções de produtor e consumidor. Tal particularidade permite economia na transmissão de dados, os quais só são enviados aos dispositivos que os requisitarem, e determinismo¹, pois o tempo para entrega dos dados é independente do número de dispositivos que os solicitam (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

¹ Identifica a capacidade da rede em garantir a disponibilidade de informações entre seus integrantes em tempo determinado (CÔRREA, 2003).

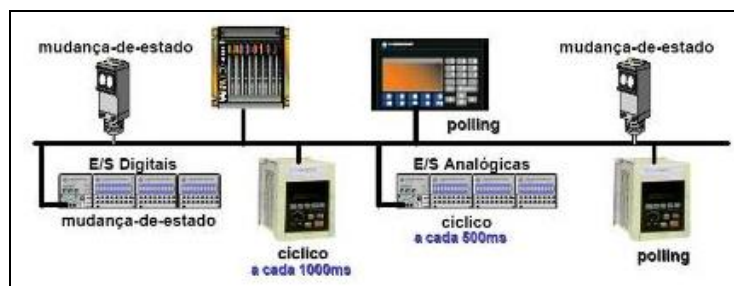


Figura 14: Sistema produtor/consumidor
 Fonte: FILHO, 2005

2.1.5.2 Algoritmo de acesso ao meio

É o algoritmo utilizado pelos nós para acessar ou disponibilizar informações na rede. Na sequência detalham-se os principais algoritmos utilizados: *CSMA/CD*, *Token Passing*, *Polling*, *Change of State* e *CTDMA*.

- *Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection – CSMA/CD*: A transmissão de dados se inicia assim que é detectada a disponibilidade do canal. Quando da transmissão simultânea entre dois dispositivos, ocorre uma colisão e a transmissão é abortada. Depois de um determinado período, a estação tenta a retransmissão (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

- *Token Passing*: Algoritmo utilizado na topologia em anel. Um frame de dados (*token* ou portador do direito de transmissão) é transmitido de modo ordenado de um dispositivo para o outro. O dispositivo que está de posse do *token* realiza suas tarefas e o retransmite, após tempo determinado pelo protocolo, para utilização por parte do dispositivo seguinte (LOPEZ, 2000).

- *Polling*: Neste método, utilizado geralmente em topologia de barramento, a transmissão ocorre através da consulta, por parte do controlador, a cada um dos dispositivos conectados à rede em uma ordem preestabelecida. Caso nenhuma mensagem deva ser transmitida, o dispositivo interrogado envia ao controlador uma mensagem indicando estar em operação (LOPEZ, 2000).

- *Change of State – COS*: A transmissão de dados ocorre apenas quando da mudança de alguns dos valores lidos pelos dispositivos conectados à rede – ao invés do controlador realizar a leitura cíclica de cada dado, os dispositivos enviam os dados ao controlador apenas quando houver variação de um valor de uma variável. Neste algoritmo, normalmente é configura-se uma mensagem a ser transferida

ciclicamente para confirmar que o dispositivo está operando normalmente, mesmo que seu estado não tenha variado (ARAÚJO FILHO, 2005).

- *Concurrent Time Domain Multiple Access – CTDMA*: A transmissão de dados pode ocorrer de duas formas. Na primeira, a programada, cada dispositivo tem seu intervalo para transmissão de dados durante cada ciclo. Já na segunda, a não programada, não há ordem definida para transmissão a cada ciclo. Desta forma, cada dispositivo pode realizar acessos a rede conforme carga da mesma (ARAÚJO FILHO, 2005).

2.2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Após descrição sobre as características de funcionamento das redes industriais, este trabalho dedicar-se-á à apresentação dos principais protocolos de comunicação empregados no mercado de automação industrial - a Figura 15 apresenta a participação da utilização das principais redes no mercado industrial global.

Entende-se como protocolos de comunicação a metodologia empregada para inicializar, manter e terminar uma mensagem, livre de erros, de um dispositivo sobre uma rede de dados (BORGES, 2009). Um protocolo de comunicação caracteriza o elemento de maior importância em uma rede industrial, tanto que as mesmas passam a ser denominadas a partir dos protocolos utilizados (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

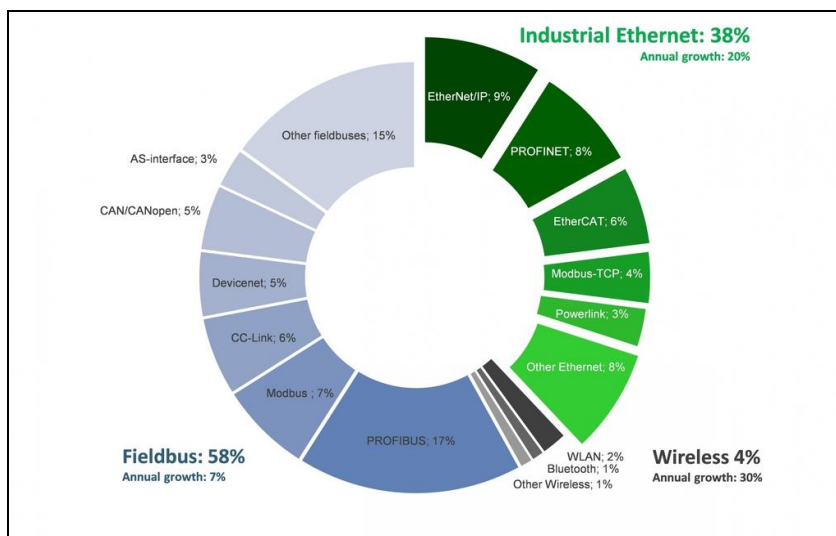


Figura 15: Utilização de redes industriais no mercado global
Fonte: HMS Industrial Networks, 2016

2.2.1 PROFIBUS - PROcess Field BUS

Trata-se um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, o que permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação predial - a Figura 16 mostra um exemplo de arquitetura desta rede. Atualmente, o PROFIBUS está dividido em algumas derivações de acordo com sua arquitetura.

- PROFIBUS DP (*Distributed Peripherals*): é caracterizado pela velocidade, eficiência e baixo custo de conexão, razão pela qual é a derivação de PROFIBUS mais utilizada. Foi projetado para comunicação entre sistemas de automação e periféricos distribuídos, sendo principalmente utilizado para substituir a transmissão de sinal em 24 Vcc em sistemas de automação de manufatura e para a transmissão de sinal de 4 a 20 mA em sistemas de automação de processos (CASSIOLATO, 2011).

- PROFIBUS FMS (*Fieldbus Message Specifications*): trata-se de uma rede de grande capacidade para comunicação de dispositivos inteligentes – computadores, CLPs ou outros sistemas inteligentes que impõem alta demanda de transmissão de dados (CASSIOLATO, 2011).

- PROFIBUS PA (*Process Automation*): este protocolo define os parâmetros e blocos de funções dos dispositivos de automação de processos, tais como transmissores de pressão, temperatura, conversores e posicionadores. Foi

desenvolvido apenas para utilização em sistemas de transmissão de sinal de 4 a 20 mA para automação de processos analógicos (CASSIOLATO, 2011).

Os meios de transmissão de meios físicos mais utilizados no PROFIBUS são: RS485, IEC 61158-2 (*Manchester*) e fibra óptica (LUGLI e SANTOS, 2010). Atualmente estão sendo feitos desenvolvimentos e produtos com tecnologia em infravermelho e wireless, já disponíveis no mercado (CASSIOLATO et al., 2012).

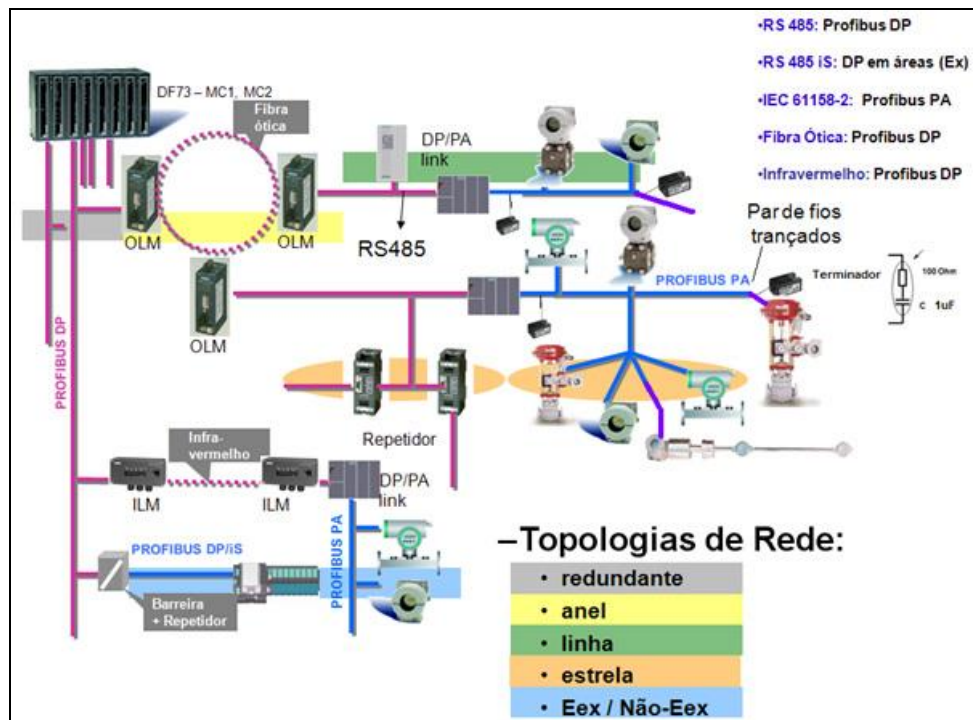


Figura 16: Arquitetura típica de uma rede PROFIBUS
Fonte: CASSIOLATO, 2011

O protocolo PROFIBUS utiliza tecnologia de comunicação mestre-escravo, podendo ser mono ou multimestre. Caso seja utilizada a tecnologia multimestre, o acesso ao barramento é feito através da técnica de *token* entre os mestres. A comunicação entre os mestres e os escravos é feita através do processo de varredura. Versões mais avançadas permitem a comunicação acíclica entre mestres e escravos, além da possibilidade de comunicação entre os *slaves*, o que diminui o tempo de resposta na comunicação (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

2.2.2 DeviceNet

A rede DeviceNet aplica-se a nível operacional para conexão entre sensores, atuadores e sistema de automação industrial em geral, desenvolvida para proporcionar máxima flexibilidade e interoperabilidade entre equipamentos de campo de diferentes fornecedores (SMAR, 2011). A Figura 17 demonstra um exemplo de arquitetura para rede DeviceNet.

Suas principais características são: permitir o fornecimento de alimentação aos equipamentos através do próprio cabo de rede (trata-se de um cabo com dois pares de fios, um para alimentação 24 Vcc e outro para a comunicação digital), possuir alto poder de diagnosticar os dispositivos das redes, atingir altas velocidades, possuir comunicação com equipamentos discretos e analógicos a nível de bytes e possibilitar a remoção e substituição de equipamentos em redes sob tensão e sem um aparelho de programação (BORGES, 2007).

Os 64 dispositivos suportados (número máximo) por esta rede, comunicam-se através do conceito produtor/consumidor – um elemento “produz” e disponibiliza informação no barramento e os elementos que necessitam desta informação a “consomem” (SMAR, 2011).

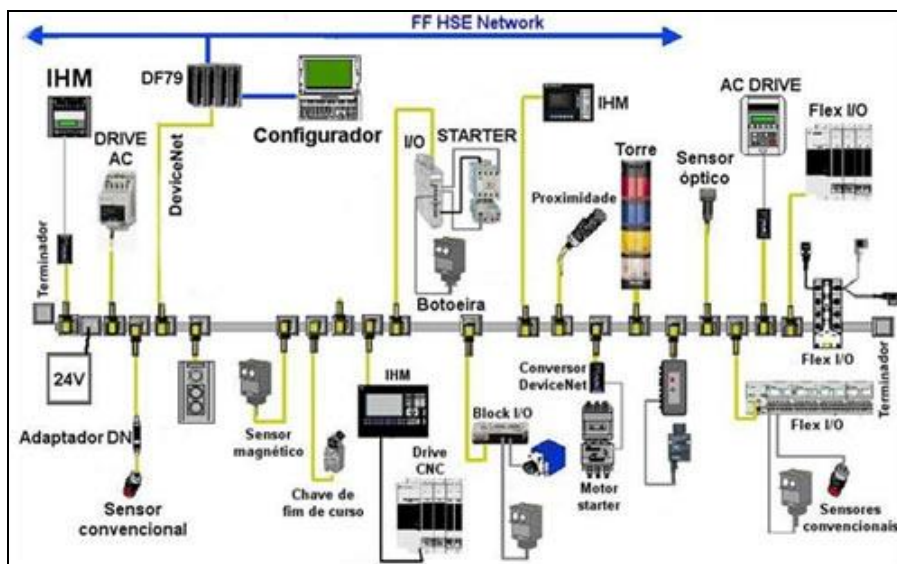


Figura 17: Exemplo de rede DeviceNet
Fonte: SMAR, 2011

2.2.3 Modbus

É um dos mais antigos protocolos utilizados em redes de controladores lógico programáveis para aquisição de sinais de sensores e comando de atuadores utilizando uma porta serial – RS232, RS422 e RS485. É utilizado em milhares de equipamentos existentes, principalmente por ser uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em automação industrial (BORGES, 2007).

Sua tecnologia de comunicação é do tipo mestre/escravo, com a limitação de um mestre e até 247 escravos conectados à rede (BORGES, 2007). A comunicação inicia-se sempre pelo mestre, o qual transmite dois tipos de mensagem, listadas na sequência, aos escravos. É importante ressaltar que escravos não se comunicam entre si (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

- Mensagem tipo *unicast*: o mestre envia uma requisição para um escravo definido e este retorna uma mensagem-resposta ao mestre. Portanto, nesse modo são enviadas duas mensagens: uma requisição e uma resposta (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

- Mensagem tipo *broadcast*: o mestre envia a requisição para todos os escravos, e não é enviada nenhuma resposta para o mestre (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

Já no que diz respeito ao modo de transmissão, existem dois modos: *American Code for Information Interchange - ASCII* e *Remote Terminal Unit – RTU*. No primeiro, a comunicação é realizada através da transmissão de cada *byte* de carácter em uma mensagem, na qual enviam-se dois caracteres sem geração de erros. Já no segundo, mais utilizado em automação industrial, cada *byte* de mensagem (mensagem de oito *bits*) é transmitido como dois caracteres hexadecimais de quatro *bits* cada (BORGES, 2007).

2.2.4 CANOpen

Dada sua abertura e baixo custo para implantação, é um protocolo muito utilizado na indústria em geral. Trata-se de uma rede baseada em *Controller Area Network – CAN*, um protocolo de comunicação serial que descreve os serviços da

camada de enlace de dados do modelo OSI (WEG, 2010). Na Figura 18 é possível verificar um exemplo de instalação em rede CANOpen.

Toda rede CANOpen deve possuir um mestre, responsável por serviços de gerenciamento de rede, e possuir um conjunto de até 127 escravos. Estes dispositivos de rede tem o mesmo acesso ao barramento, sendo que todos os nós recebem todas as mensagens e decidem, através de um filtro, quais as mensagens lhe são dirigidas – um índice identificador no *frame* de dados define a prioridade da mensagem, fazendo com que o tempo de transmissão de mensagens de alta prioridade seja muito pequeno, mesmo em situações de muito tráfego no barramento comum (WEG, 2010).

Outra característica vantajosa do protocolo é seu mecanismo para controle de erros, o qual baseia-se na capacidade de todo dispositivo da rede de identificar a ocorrência de erros e informa-los aos demais elementos, tornando a rede muito confiável e com um índice muito baixo de erros de transmissão que não são detectados (WEG, 2010).

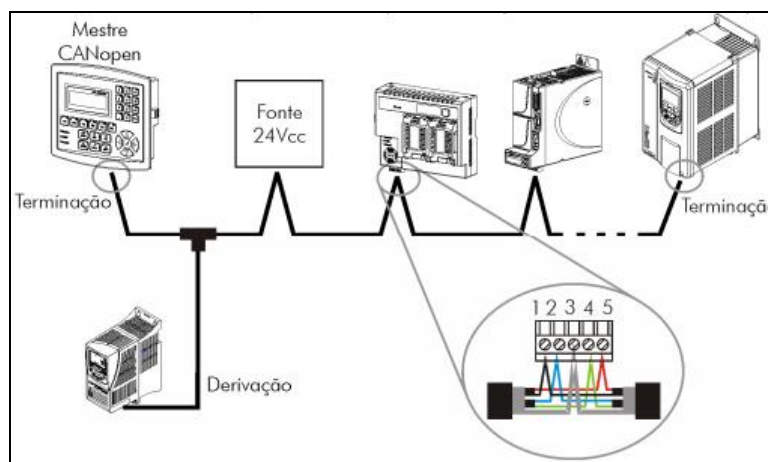


Figura 18: Exemplo de instalação em rede CANOpen
Fonte: WEG, 2010

Os protocolos de comunicação listados até aqui baseiam-se em redes locais *fieldbuses*. *Fieldbus* é um termo genérico para uma série de redes digitais criadas com o intuito de substituir o sistema de sinal analógico 4 – 20 mA em um sistema integrado de automação e controle de processos (ALBUQUERQUE e ALEXANDRIA, 2007). Na sequência, serão apresentadas as redes industriais baseadas em Ethernet Industrial, os quais utilizam o meio físico da Ethernet bem como os

protocolos TCP/IP². Segundo Albuquerque e Alexandria (2007), esta tecnologia é largamente aplicada no gerenciamento de processos de fábrica e tem evoluído com alternativa no chão de fábrica e no controle de processos – de acordo com relatório *Industrial Network Market Shares 2016*, redes baseadas em Ethernet Industrial já possuem 38% de participação no mercado industrial global e apresentam crescimento anual de 20% (HMS Industrial Networks, 2016).

Segundo Borges (2007), algumas organizações desenvolveram, a partir de seus protocolos, níveis de aplicação para Ethernet TCP/IP, sendo os mais conhecidos listados na sequência e ilustrados na Figura 19.

- Modbus/TCP.
- Ethernet/IP.
- PROFINET.
- EtherCAT.

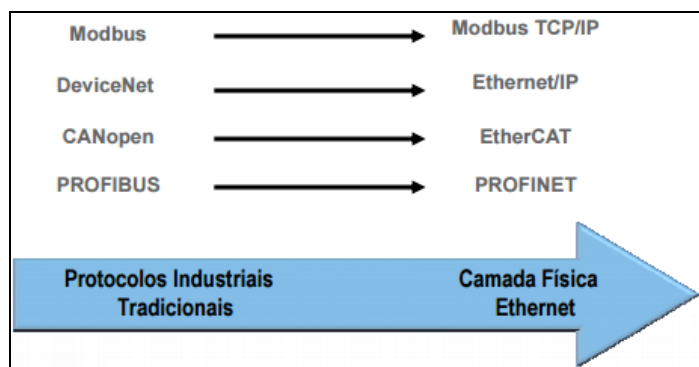


Figura 19: Protocolos tradicionais e seus níveis de aplicação para Ethernet
Fonte: BORGES, 2007

2.2.5 Modbus/TCP

É um protocolo de envio de mensagem Modbus na rede Ethernet TCP/IP e tem como objetivo supervisionar e controlar equipamento de automação. O uso mais comum deste protocolo é conectar CLPs, módulos de entradas e saídas e conversor de protocolos na Ethernet a outros barramentos de campos simples ou rede de

² Entende-se como TCP/IP uma arquitetura que divide o processo de comunicação em quatro camadas, ao invés das sete camadas do modelo OSI. As camadas física e de ligação do modelo OSI se unem originando uma única camada denominada *data-link* no modelo TCP/IP. Já as camadas de sessão, apresentação e aplicação do modelo OSI tem suas funções estabelecidas dentro de uma única camada no modelo TCP/IP, a camada de aplicação.

entradas e saídas. Na prática, o Modbus TCP incorpora um frame de dados Modbus padrão em um frame TCP, sem dígito verificador de soma padrão do Modbus – *checksum*, conforme demonstrado na Figura 20 (ACROMAG INCORPORATED, 2005).

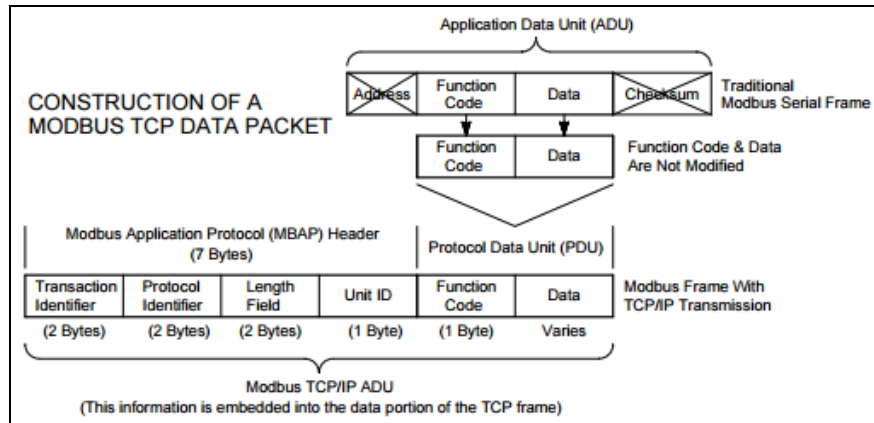


Figura 20: Construção de pacote de dados Modbus TCP
Fonte: ACROMAG INCORPORATED, 2005

Os comandos Modbus são encapsulados no interior de um *frame* de dados TCP/IP sem nenhuma modificação – com exceção do *checksum*, o qual é substituído pelo *checksum* padrão do Ethernet TCP/IP em sua camada de ligação. Além disso, o campo de endereço do *frame* Modbus é substituído pelo identificador da unidade em Modbus TCP/IP, tornando-se parte do cabeçalho protocolo de aplicação Modbus – *MBAP*, do inglês *Modbus Application Protocol*. Assim, uma unidade de aplicação de dados em Modbus TCP – ADU, do inglês *Modbus TCP Application Data Unit* assume a forma de um cabeçalho com 7 bytes (MBAP) acompanhado do *Protocol Data Unit* – PDU (ACROMAG INCORPORATED, 2005).

Trata-se de um protocolo em destaque dada sua versatilidade, com baixo custo de desenvolvimento, abertura e não necessidade de diversos equipamentos para suportá-lo. Outra importante vantagem é a possibilidade de integração entre redes Modbus RTU ou ASCII com redes Modbus TCP – é necessário um *gateway* para conversão da camada física RS232 ou RS485 para Ethernet e, por consequência, Modbus RTU ou ASCII para Modbus TCP (ACROMAG INCORPORATED, 2005).

2.2.6 Ethernet/IP

Sigla de Ethernet *Industrial Protocol*, o protocolo de comunicação Ethernet/IP é uma combinação de vários padrões existentes, isto é, alia a tecnologia Ethernet com os seguintes protocolos: Protocolo de Controle de Transmissão – TCP, do inglês *Transmission Control Protocol*; Protocolo de Internet - IP, do inglês *Internet Protocol*; e um protocolo aberto da camada de aplicativo conhecido como Protocolo de Informação e Controle – CIP, do inglês *Common Industrial Protocol* (ODVA, 2005). A configuração de uma rede Ethernet/IP pode ser vista na Figura 21.

O CIP é um protocolo de meios de comunicação independentes, com base em conexão a objetos projetada para aplicações de automação. Ele engloba um conjunto abrangente de serviços de comunicação para aplicações de automação: controle, segurança, sincronização, movimento, configuração e informação (ODVA, 2005). Suas principais vantagens são listadas na sequência, conforme ODVA (2005).

- Integração coerente de controle de entradas e saídas, configuração de dispositivos e coleta de dados.
- Fluxo de informações através de múltiplas redes.
- Capacidade de implementar redes de multicamada sem o custo adicional e a complexidade de *bridges* e *proxies*.
- Investimento minimizado em engenharia de sistemas, instalação e comissionamento.
- Liberdade de escolher melhores produtos, com a garantia de preços competitivos e de baixo custo de integração.

Como o protocolo Ethernet/IP utiliza o padrão Ethernet e as tecnologias baseadas em TCP/IP, a compatibilidade e coexistência com outras aplicações e protocolos ocorre sem problemas (ODVA, 2005).

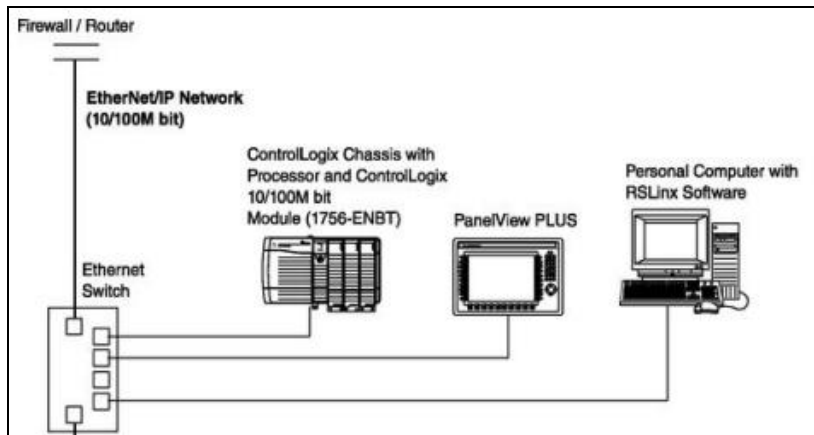


Figura 21: Configuração típica de rede Ethernet/IP
Fonte: LUGLI e SANTOS, 2011

2.2.7 EtherCAT

O EtherCAT, do inglês Ethernet for *Control Automation Technology*, é um protocolo de rede industrial de alto desempenho que vem se destacando no cenário industrial, segundo Reinert e Ribeiro (2010), por oferecer os aspectos listados a seguir.

- Elevado desempenho em tempo real: o protocolo garante o desempenho em tempo real mesmo com uma grande quantidade de dispositivos eventualmente interligada – até 65536 estações. Uma arquitetura com 1000 pontos de entradas e saídas digitais distribuídas podem ser processadas em 30 μ s, por exemplo.
- Topologia flexível: a tecnologia EtherCAT suporta as configurações estrela, ponto a ponto ou árvore. Os dispositivos podem ser conectados diretamente entre si, dispensando o uso de *switches* ou *hubs* e facilitando a conexão ponto a ponto, muito utilizada nos barramentos industriais.
- Confiabilidade: Tolerância a outros serviços baseados em Ethernet ou outros protocolos da mesma rede física, ou seja, trata-se de uma rede totalmente transparente para o componente Ethernet.

Sua comunicação baseia-se na troca de dados entre mestre e escravos, conforme detalhamento na Figura 22, a qual é realizada através de objetos de processamento de dados – PDOs, do inglês *Process Data Objects*. Cada PDO possui endereçamento para um ou mais escravos, formando, juntamente com os dados a ser transmitidos, um telegrama EtherCAT, os quais, por sua vez, formam um *frame* Ethernet. Cada *frame* é processado sem intervalo – supõe-se que o *frame*

Ethernet é um trem em movimento, e o telegrama EtherCAT são os vagões do trem. Os bits de dados PDO são pessoas nos vagões que podem ser extraídas ou inseridas pelos escravos apropriados. O “trem” completo passa por todos os dispositivos escravos sem parar, e o último escravo o manda de volta passando por todos os escravos novamente (REINERT e RIBEIRO, 2010).

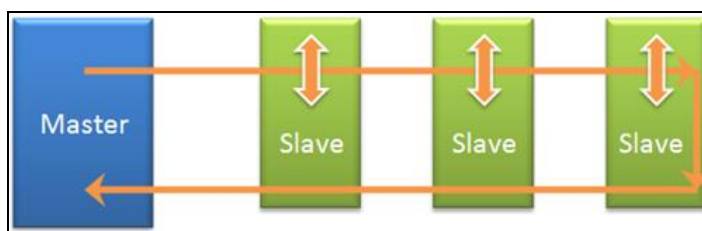


Figura 22: Transferência de dados EtherCAT
 Fonte: REINERT e RIBEIRO, 2016

2.2.8 PROFINET

Trata-se de um padrão PROFIBUS para implementação de soluções baseadas em Ethernet Industrial. Suas principais vantagens concentram-se na comunicação entre os diversos níveis de gerenciamento desde o campo até os níveis corporativos usando Ethernet e na interligação com sistemas PROFIBUS utilizando *proxies*, os quais são conversores de protocolo, conforme ilustra Figura 23 (CASSIOLATO, 2011).

Basicamente há dois perfis de redes PROFINET: PROFINET IO e PROFINET CBA. O primeiro é utilizado em operações em tempo real (rápidas) e o segundo é utilizado em aplicações nas quais o tempo não é crítico (CASSIOLATO, 2011).

Dentro dos dois perfis de rede, de acordo com Cassiolato (2011), o PROFINET tem três modelos distintos de operação:

- *Non real time*: possui tempo de processamento aproximado de 100 ms. A grande aplicação deste tipo de comunicação é de configuração da rede ou na comunicação dos os *proxies*, utilizando o PROFINET CBA.

- *Soft real time*: neste modelo, que pode ser utilizado tanto com o PROFINET CBA como com o PROFINET IO, há um canal direto entre a camada de

Ethernet e a aplicação, eliminando vários níveis de protocolo e reduzindo o tempo de transmissão de dados na rede.

- *Isochronous real time*: Utilizado apenas com o PROFINET IO, este modelo é empregado em aplicações nas quais o tempo de resposta é crítico e deve ser menor que 1 ms - o controle de movimentos de um robô, por exemplo.

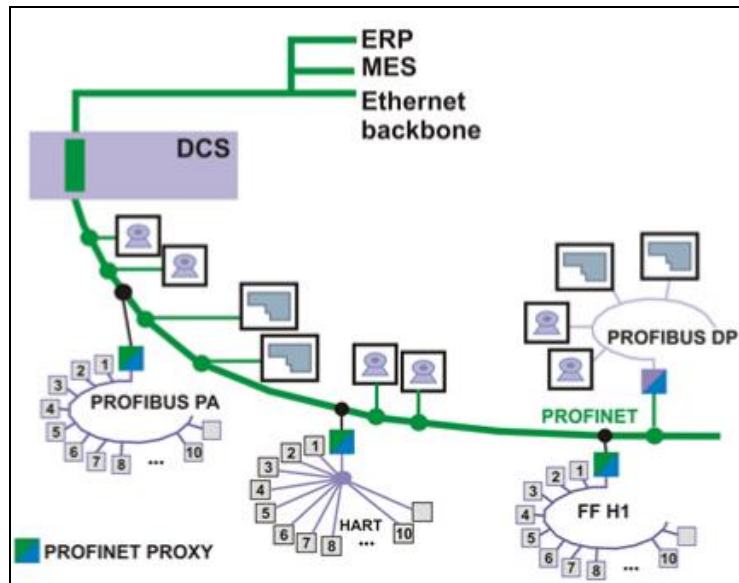


Figura 23: Exemplo de interação entre PROFINET e outros protocolos de comunicação através de proxies
Fonte: CASSIOLATO, 2011

2.2.9 Wireless

Até o momento, este trabalho buscou demonstrar protocolos de comunicação que possuem cabos com meio físico de transmissão de dados. Na sequência, serão demonstrados alguns padrões de comunicação para transmissão *wireless*, os quais são alternativas para aplicações onde é inviável a utilização de rede cabeada, como ocorre no Estudo de Caso a ser realizado no Capítulo 3.

O *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* – IEEE, uma associação profissional técnica formada por milhares de membros que desenvolvem os padrões técnicos que envolvem a engenharia elétrica e eletrônica, definiu a norma IEEE 802 para padronização da comunicação em redes *wireless*. Tal norma é utilizada para uniformizar as camadas física e de enlace do modelo OSI. Desta forma, padrões de redes sem fio baseiam-se nesta norma e classificam-se de acordo com a distância

de transmissão de dados que conseguem atingir. A Tabela 01 mostra a divisão deste grupo de padrões.

Tabela 1: Classificação dos protocolos de comunicação wireless

Tipo	Sub-comitê	Distâncias máximas
WMAN (rede sem fio metropolitana)	802.16	Quilômetros
WLAN (rede sem fio local)	802.11	Centenas de metros
WPAN (rede sem fio pessoal)	802.15	Dezenas de metros

Fonte: Adaptado de TRES e BECKER, 2009

Os subcomitês IEEE serão apresentados na sequência. Será possível verificar que, além da distância alcançada por cada um, elas possuem diferenças no que diz respeito aos fatores que são exigidos por cada rede *wireless* conforme a sua aplicação.

2.2.9.1 IEEE 802.16

Padrão de redes de comunicação *wireless* desenvolvido com o intuito de alcançar longas distâncias para a transmissão de radiofrequência, podendo cobrir um raio de 50 km quando da inexistência de obstáculos.

Sua operação ocorre em faixas de frequências entre 10 e 66 GHz, dada sua maior necessidade de banda por trabalhar com um número maior de usuários que o padrão 802.11. Outra característica deste padrão é a necessidade de um tratamento cuidadoso de erros visto que suas ondas de transmissão são milimétricas.

Para fins industriais, o padrão IEEE 802.16 é uma boa alternativa para o acesso a dados que se situam em locais de difícil acesso e longes das centrais de controle, onde se torna inviável o uso de cabos para a infraestrutura da rede.

2.2.9.2 IEEE 802.11

Trata-se de um padrão caracterizado por uma família de protocolos para comunicação de redes sem fio, os quais buscam diminuir problemas de incompatibilidade entre os equipamentos sem fio de diversos fabricantes. Esta família de protocolos é dividida em vários sub-padrões caracterizados na sequência.

- IEEE 802.11b: Também conhecido como Wi-Fi, este padrão opera na faixa de frequência de banda de 2,4 GHz. São utilizadas quatro velocidades diferentes para a transmissão e recepção de dados (1; 2; 5,5 e 11 Mbps), possibilitando um número máximo de 32 clientes conectados. Possui com alcance máximo 400 metros em lugares abertos e 50 metros em lugares fechados.

- IEEE 802.11a: Trabalha na banda de frequência de 5 GHz e é menos exposto a interferências que o 802.11b. Sua velocidade de transmissão pode chegar a até 54 Mbps, porém, geralmente trabalha com a velocidade entre 24 e 27 Mbps. Todavia, não é um padrão muito utilizado devido a sua incompatibilidade com o padrão 802.11b e, quando comparado a este, é mais veloz na transmissão de dados, mas deixa a desejar no alcance, já que o padrão 802.11b pode ter um alcance sete vezes maior do que o 802.11a.

- IEEE 802.11g: Trata-se de uma versão aperfeiçoada do 802.11b – sendo compatível com este padrão. Utiliza a mesma técnica para comunicação entre dispositivos que o IEEE 802.11a, mas opera na mesma frequência de banda do 802.11b (2,4 GHz).

- IEEE 802.11n: Possui taxa de transferência de dados na faixa entre 65 Mbps e 600 Mbps. Possui a capacidade de entradas e saídas múltiplas e pode trabalhar em duas bandas de frequência, de 2,4 GHz e de 5 GHz. Com esta tecnologia, consegue-se atingir velocidades maiores de transmissão, além de se ter um maior alcance e mais segurança nas redes *wireless*.

2.2.9.3 IEEE 802.15

Refere-se a redes sem fio de curto alcance, sendo que suas tecnologias mais conhecidas são *Bluetooth* e *ZigBee*. A primeira é geralmente utilizada em dispositivos portáteis e móveis, devido ao seu baixo consumo de energia. Tem como

padrão de comunicação a IEEE 802.15.1, operando em uma faixa de 2,4 GHz, porém com velocidades inferiores ao Wi-Fi. Mesmo com baixa influência de interferências eletromagnéticas, este padrão não é muito utilizado no meio industrial por possuir baixo alcance.

Já a segunda – *ZigBee* – foi desenvolvida como uma alternativa ao uso do Bluetooth em aplicações para equipamentos em aquecimento, ventiladores e condicionadores de ar (segmento HVAC). Também preza pelo baixo consumo de energia, podendo ser diretamente embarcado em sensores e atuadores. Sua operação ocorre em taxas de transmissão inferiores ao Wi-Fi e ao Bluetooth, sendo mais robusto contra interferências de sinal.

3 ESTUDO DE CASO

Na sequência, serão levantadas as necessidades de comunicação para este projeto, bem como quais seriam suas possíveis soluções.

3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Entende-se como sistema de abastecimento de água o conjunto das obras, equipamentos e serviços destinados ao provimento de água potável para uma comunidade com o intuito de disponibilizá-la para consumo, seja para fins domésticos, comerciais ou industriais (JULIO et al., 2010).

Todo processo de abastecimento de água inicia-se pela captação de água bruta do meio ambiente, seguido de um tratamento adequado para torna-la potável e, finalmente, de sua disponibilização para consumo (JULIO et al., 2010). Resume-se este processo através da descrição de suas etapas:

- Captação: a água bruta é captada em mananciais superficiais, como barragens e lagos, ou subterrâneos, como poços;
- Adução: a água captada dos mananciais é bombeada até as Estações de Tratamento de Água – ETA para receber o tratamento adequado;
- Tratamento: série de processos químicos e físicos para tornar a água potável;
- Reservação: a água, já potável, é bombeada até reservatórios para que fique à disposição da rede distribuidora;
- Distribuição: etapa final do sistema na qual a água é efetivamente entregue ao consumidor

O SAA em que se realizará este Estudo de Caso localiza-se na cidade de Ibaiti, localizada na região norte do estado do Paraná (Figura 24).



Figura 24: Localização da cidade de Ibaiti/PR

Este sistema de abastecimento constitui-se de dez áreas, sendo que algumas já são existentes, outras encontram-se em implementação e as demais tratam de futuras expansões. Tais áreas são descritas nas Figuras 25 e 26.

ÁREA	UNIDADE	SITUAÇÃO	
01	CSP 01	EEB 01 192m ³ /h	EXISTENTE
02	CSP 02 (EMERGENCIAL)	EEB 02 69,6m ³ /h EEB 03 69,6m ³ /h	EXISTENTE EXISTENTE
03	TANQUE DE EQUALIZAÇÃO	TEQ	EXISTENTE
04	ETA	FE DN200 – EM ETA 50 l/s REN 1 300m ³ REN 2 300m ³ REN 3 500m ³ REN 4 500m ³ EET 01 50m ³ /h REL 01 50m ³ RESERVATÓRIO ETL	EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE EXISTENTE IMPLANTAR
05	ETL	2 LAGOAS	IMPLANTAR
06	MACROMEDIDOR	FE DN150 – Woltmann	EXISTENTE
07	POÇO 04	CSB 04 27m ³ /h FE DN75 – Woltmann	EXISTENTE EXISTENTE
08	ELEVADO 50m ³	REL 50m ³	EXISTENTE
09	POÇO 03	CSB 03 80m ³ /h RAP 03 50m ³ EEB 03 80m ³ /h	IMPLANTAR IMPLANTAR IMPLANTAR
10	CENTRO DE RESERVAÇÃO	FE DN150 P03 – EM 2 FCZ SÓDIO P03 2 FCZ CÁLCIO P03 RAP 1 500m ³ FE DN100 – EM FE DN80 – EM FE DN150 P01 – EM 2 FCZ SÓDIO P01 2 FCZ CÁLCIO P01 RAP 2 500m ³	IMPLANTAR IMPLANTAR IMPLANTAR IMPLANTAR IMPLANTAR IMPLANTAR FUTURO FUTURO FUTURO FUTURO
11	MACROMEDIDOR	FE DN50 – Woltmann	IMPLANTAR
12	MACROMEDIDOR	FE DN80 – Woltmann	IMPLANTAR
13	POÇO 01	CSB 01 70m ³ /h RAP 01 50m ³ EEB 01 80m ³ /h	FUTURO FUTURO FUTURO

Figura 25: Áreas do Sistema de Abastecimento de Água
Fonte: Empresa contratante, 2012

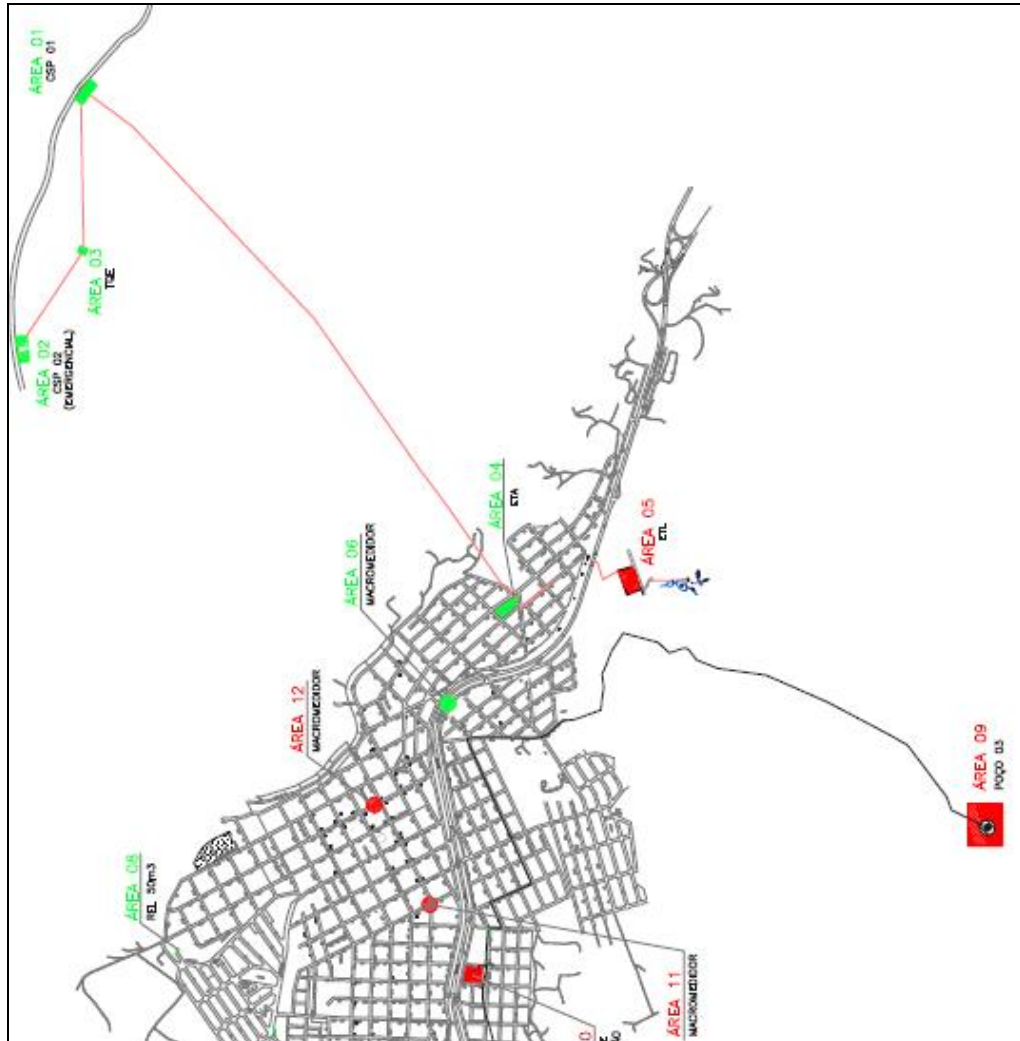


Figura 26: Planta geral do Sistema de Abastecimento de Água
Fonte: Empresa contratante, 2012

3.1.1 Requisições do projeto

O projeto solicita o estabelecimento de comunicação entre as áreas listadas na seqüência e demonstradas na Figura 27.

- Enlace de comunicação 01: Centro de Reservação e poço 01; Tabela 2.

Tabela 2: Enlace entre CR e Poço 01

	Estação A: CR	Estação B: POÇO 01
Latitude:	23° 50' 34.06" S	23° 49' 25.16" S
Longitude:	50° 11' 37.69" W	50° 13' 27.41" W
Distância do Enlace:	3,760 km	

Fonte: Empresa contratante, 2012

- Enlace de comunicação 02: Centro de Reservação e poço 03; Tabela 3.

Tabela 3: Enlace entre CR e Poço 03

	Estação A: CR	Estação B: POÇO 03
Latitude:	23° 50' 34.06" S	23° 50' 57.50" S
Longitude:	50° 11' 37.69" W	50° 13' 07.85" W
Distância do Enlace:	2,651 km	

Fonte: Empresa contratante, 2012

- Enlace de comunicação 03: Centro de Reservação e Estação de Tratamento de Água; Tabela 4.

Tabela 4: Enlace entre CR e ETA

	Estação A: CR	Estação B: ETA
Latitude:	23° 50' 34.06" S	23° 51' 32,0" S
Longitude:	50° 11' 37.69" W	50° 11' 43,0" W
Distância do Enlace:	1,792 km	

Fonte: Empresa contratante, 2012

A Figura 27 apresenta o enlace da comunicação sem fio.

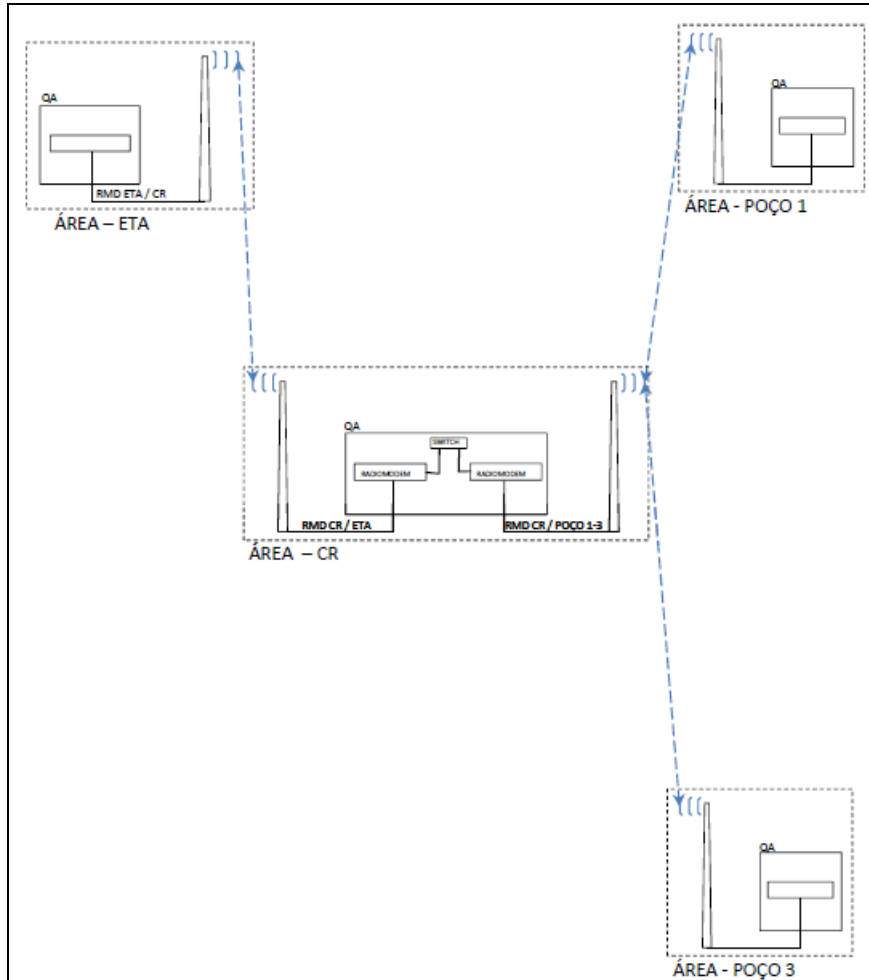


Figura 27: Enlaces de comunicação sem fio
Fonte: Empresa contratante, 2012

Para tal, devem ser cumpridas as exigências apresentadas no Manual de Projetos e Obras Elétricas e de Automação – Volume V (2014), apresentado pela empresa contratante. No que diz respeito a redes industriais e estabelecimento de comunicação sem fio, as principais exigências serão destacadas a seguir.

- Para cada nível de automação é utilizada uma determinada rede de campo. No nível 01, o qual envolve a comunicação entre controladores programáveis, recebendo informações de campo, devem ser utilizados os protocolos Modbus RTU, Modbus TCP, PROFINet e ISO on TCP. A escolha do protocolo mais adequado deve ser feita conforme projeto e de acordo com aplicação e desempenho desejado (a Tabela 5 apresenta alguns requisitos de desempenho definidos em automação industrial, de acordo com o nível de aplicação).

Tabela 5: Requisitos de comunicação de sistemas de automação industrial

	Volume de dados	Taxa de transmissão	Frequência de transmissão
Nível de planta	Kbytes	Segundos	Horas/minutos
Nível de controle	Bytes	100 μ s ... 100 ms	10 ... 100 ms
Nível de campo	Bits	1 ... 10 ms	Milissegundos

Fonte: Empresa contratante, 2012

De uma maneira geral, projetos de saneamento não trazem criticidade em relação ao tempo de troca de dados, isto é, não há necessidade da atualização de entradas e saídas na ordem de milissegundos.

- Os meios de comunicação padronizados para uso nos sistemas automatizados da empresa contratante são rádio modem, linhas privadas digitais, linhas físicas, tecnologia celular e as redes privadas virtuais – RPV. Sempre que houver interligação entre controladores programáveis instalados em unidades operacionais distintas ou pontos de medição na rede de distribuição, ou ainda entre estações de operação, deverá ser definida, entre empresa contratante e projetista, um sistema de comunicação a distância a ser projetado.

Sendo assim, pode-se afirmar que a escolha da tecnologia de comunicação *wireless* para este projeto envolve basicamente a definição de dois pontos: rede de campo e meio de comunicação.

3.1.2 Rede de campo

Conforme mencionado anteriormente, para comunicação no nível 01 de automação, os possíveis protocolos de comunicação utilizados são Modbus RTU, Modbus TCP, PROFINet e ISO on TCP. Para entender os critérios levados em consideração para esta escolha, entrou-se em contato com a contratante do projeto, através de seu setor de Projetos Elétricos e de Automação na Unidade de Serviços de Projetos Especiais. Os principais pontos mencionados foram:

- Protocolos baseados em Ethernet Industrial: de acordo com a engenharia da contratante, há uma forte tendência da utilização, no mercado de automação industrial, de redes de comunicação baseadas em Ethernet Industrial, tais como

PROFINet, Ethernet/IP, EtherCat, Modbus TCP e Powerlink. As razões concentram-se na enorme popularidade da tecnologia Ethernet; no baixo custo de implementação, treinamento e manutenção; na alta velocidade e performance; nas atualizações tecnológicas constantes; na facilidade de interconectividade e acesso remoto; na capacidade de alavancar tecnologia comercialmente barata; na certeza que os principais fabricantes de CLP e SDCD suportam Ethernet; na capacidade de transportar elevado fluxo de informações entre o processo industrial e a corporação; no elevado número de pessoal técnico qualificado e na habilidade de prover diagnóstico e atuação remota (SILVA e OLIVEIRA, 2014).

- Características da aplicação: foi mencionado ainda, pela engenharia da contratante, que aplicações em processos de saneamento não são tão exigentes quanto ao tempo de atualização das entradas e saídas, isto é, não é uma aplicação que ordena ciclos de tempo na ordem de milissegundos.

- Atributos gerais: outros pontos importantes mencionados pela equipe da contratante dizem respeito à simplicidade de programação, disponibilidade de material técnico, difusão do protocolo de comunicação no mercado de automação industrial e abertura da tecnologia (não se tratar de um protocolo de comunicação proprietário).

Das quatro possibilidades de meio de comunicação levantadas pela contratante, apenas uma não se baseia em Ethernet Industrial: Modbus RTU. Considerando a preferência dada pela contratante em tecnologia baseadas neste meio físico, exclui-se este protocolo das opções a serem estudadas.

Com três opções restantes, parte-se então para a verificação dos demais pontos levantados pela contratante. No que se refere à difusão do protocolo de comunicação e abertura de tecnologia, já é possível excluir mais uma opção: ISO on TCP. Trata-se de um protocolo proprietário utilizado pela empresa alemã SIEMENS, pouco difundido e com baixa interconectividade com equipamentos de outros fabricantes.

Restam então os protocolos Modbus TCP e PROFINet. Ambos são amplamente difundidos em automação industrial com participação de 8% e 4% para PROFINet e Modbus TCP, respectivamente, no mercado global de redes de comunicação (HMS Industrial Networks, 2016).

A principal diferença nas características destes dois protocolos está relacionada às restrições de tempo de resposta. O método de acesso ao meio do

Modbus TCP (tecnologia CSMA/CD) compromete a capacidade da utilização do protocolo em tempo real, por não ser determinístico. Já com o PROFINet é possível garantir que o sistema de controle da aplicação irá sempre atender os tempos de resposta solicitados (DIAS et al., 2014). Embora esta propriedade pese a favor da escolha do PROFINet, é importante mencionar novamente que a contratante não considera que a atualização de entradas e saídas em processos de saneamento seja algo crítico.

Desta forma, a escolha para esta aplicação é o protocolo de comunicação Modbus TCP pois, conforme POWELL (2013), trata-se de um protocolo muito simples e fácil de usar, um dos pontos cruciais levantados pela contratante.

3.1.3 Meio de comunicação

De acordo com seu Manual de Projetos e Obras Elétricas e de Automação – Volume V (2014), os principais critérios para escolha do meio de comunicação são:

- Criticidade dos pontos de processo a interligar, envolvendo o perfil do terreno e os obstáculos entre os pontos e os locais de instalação;
- Adequação do desempenho de cada alternativa de meio de comunicação em relação à aplicação pretendida;
- Segurança operacional (disponibilidade do sinal, disponibilidade do serviço, integridade do sinal);
- Custos de implantação;

Dentre estes critérios, o primeiro citado (criticidade dos pontos do processo a interligar) é comum a todos os meios de comunicação e compreende a distância, na ordem de grandeza de unidades de quilômetros, entre as áreas cuja comunicação deve ser estabelecida. Para os demais critérios, estudar-se-á caso a caso.

3.1.3.1 Rádio modem

Trata-se de uma tecnologia que reúne um modem e um rádio no mesmo equipamento, o qual foi concebido especialmente para a transmissão de dados sem a necessidade de fio (sobre ondas de rádio) em aplicações de telemetria – geralmente não há transmissão de voz (BAILEY, 2003).

Possui como principal vantagem o provimento de comunicação em tempo real. Além disso, sua utilização envolve desempenho conforme necessidades de projeto, confiabilidade no acesso aos dados, simplicidade de implementação e a possibilidade de utilização de diversos protocolos de comunicação (BAILEY, 2003).

Trata-se de uma solução sem custos para a transmissão de dados, porém a responsabilidade do funcionamento e o custo de instalação/manutenção são de responsabilidade do usuário. Outro ponto importante a ser levantado é a necessidade de pontos de repetição de sinal quando da cobertura de uma grande área (CHIRIBAO, 2006).

3.1.3.2 Linhas privativas digitais

Linha privativa digital é a denominação para uma comunicação ponto a ponto através de meio físico de propriedade da operadora de telefonia local. A utilização deste meio se dá através de um contrato de aluguel permanente ou temporário junto à concessionária. Por se tratar de um circuito direto, a concessionária pode oferecer uma série de vantagens para melhorar a qualidade do *link* (CASAGRANDE, 2005).

Esta solução de comunicação não é mais aceita por parte da contratante devido ao fim de sua oferta por boa parte das operadoras de telefonia (Empresa contratante, 2014).

3.1.3.3 Linhas físicas

Entende-se como linha física uma comunicação ponto a ponto através de um meio físico, o qual pode ser um cabo de par metálico trançado ou fibra óptica, com utilização de postes da concessionária de energia elétrica local (JUNIOR e MENDES, 2009).

As principais características deste meio de comunicação concentram-se na baixa influência de interferência de ondas eletromagnéticas, na confiabilidade no acesso aos dados e em uma elevada velocidade de transmissão. Já como ponto negativo, apresenta-se o custo para compartilhamento de postes da concessionária

de energia elétrica (JUNIOR e MENDES, 2009). A Figura 28 apresenta pontos comparativos entre meios de comunicação com fio.

A contratante utiliza linhas físicas em seus projetos quando a distância entre áreas nas quais será estabelecida a comunicação tem no máximo 500 metros.

Meios de transmissão Características	Cabeadas		
	Par trançado	Coaxial	Fibra ótica
Distância (metros)	100	500	100.000
Interferência (nível)	Médio	Médio	Baixo
Largura de banda máxima (Mbps)	1.000	10	10.000
Custo (nível)	Baixo	Médio	Alto
Instalação (nível)	Fácil	Fácil	Alto
Infraestrutura (custo)	Alto	Alto	Alto
Mobilidade (nível)	Baixo	Baixo	Baixo
Segurança (nível)	Médio	Médio	Médio

Figura 28: Comparativo entre os meios cabeadas de transmissão de dados
Fonte: JUNIOR e MENDES, 2009

3.1.3.4 Tecnologia celular

A tecnologia celular é utilizada pela contratante para monitoramento de variáveis como vazão e pressão. É considerada uma tecnologia de baixo custo quando comparada às demais, porém, como as operadoras de telefonia celular dão prioridade a transmissões de voz, sua confiabilidade não é garantida e não é possível garantir o recebimento de dados no tempo desejado e necessário para determinada aplicação. Sendo assim, é utilizada apenas em aplicações não críticas (Empresa contratante, 2014).

3.1.3.5 Linhas privadas virtuais

Uma rede particular virtual (*Virtual Private Network – VPN*) é uma forma de comunicação entre dois pontos utilizando uma rede pública - para o caso da contratante são redes fornecidas pelas operadoras de telefonia ou pela companhia

responsável pela distribuição de energia elétrica na região (Empresa contratante, 2014).

Por se tratar da utilização de uma rede pública, é preciso criar mecanismos de segurança para que as informações trocadas por estes dois pontos não sofram nenhum tipo de violação. Por outro lado, a utilização de uma rede existente, faz com que o custo para implementação e utilização seja reduzido. No que diz respeito à velocidade, o tempo de transmissão é totalmente dependente da rede disponível, ou seja, se o tempo de transmissão de dados é crucial, este tipo de rede pode não ser o mais indicado (MARTINS, 2015).

Embora a contratante ofereça todas estas opções para meios de comunicação, os projetos de saneamento, de uma maneira geral, concentram-se em três opções: fibra óptica, rádio e tecnologia celular (GPRS). A seguir, na Figura 29, segue comparativo entre estes três meios de comunicação, no qual “+” é a menor nota e “+++++” é a maior nota (PESSOA e COURI, 2015).

	Fibra óptica	Rádio	GPRS
Custo de instalação em longas distâncias	+++++	++	+
Confiabilidade da comunicação	+++++	++++	++
Facilidade de planejamento	+	++++	+++++
Facilidade de instalação	+	++++	+++++
Facilidade de configuração	+++++	++++	+++
Facilidade na manutenção	+++	++++	+++++
Taxa de transmissão	+++++	+++	++

Figura 29: Comparativo entre meios de comunicação mais usados em projetos de saneamento

Fonte: PESSOA e COURI, 2015

A utilização de fibra óptica como meio de comunicação apresenta muitas características interessantes, como imunidade a interferência eletromagnética e alta velocidade. Porém, na maioria dos casos, sua utilização é inviável devido à grande quantidade de estações e consequente distância entre elas – conforme mencionado anteriormente, a contratante aceita a utilização de fibras ópticas, ou outras linhas físicas, para comunicação entre áreas com distâncias de até 500 metros. Dado este

aspecto, as estações de telemetria normalmente utilizam meios de comunicações sem fio, rádio ou GRPS, que promovem um menor custo de implementação, quando comparado com a passagem de cabos, e uma maior simplicidade no planejamento. Em ambas, as taxas de transmissão são menores, mas a confiabilidade do rádio é maior que a do GPRS, pois a comunicação GPRS depende do serviço das companhias de telefonia celular, as quais, além de priorizar à transmissão de voz, não possuem cobertura de sinal em 100% das cidades. Desta forma, conclui-se que, atualmente, a solução à rádio possui a melhor relação “custo x benefício” (PESSOA e COURI, 2015).

3.1.4 Topologia de automação

Após a definição dos dois pontos cruciais para este projeto - rede de campo e meio de comunicação – é possível simular sua topologia de automação. Para tal, considera-se o Centro de Reservação como uma estação central e as demais áreas – Poço 01, Poço 03 e Estação de Tratamento de Água (ETA) existente – como estações remotas. As solicitações da empresa contratante em relação aos equipamentos, para cada área, são:

- Centro de Reservação: um controlador lógico programável – CLP - dotado de 24 entradas digitais, 8 saídas digitais, 8 entradas analógicas e 8 saídas analógicas, com porta de comunicação Ethernet; uma interface homem-máquina – IHM - com porta de comunicação Ethernet. Além destes, equipamentos para provimento de comunicação (rádio modem via Modbus TCP) com as demais áreas – remotas.

- Poço 01: um controlador lógico programável dotado de 16 entradas digitais, e 8 entradas analógicas, com porta de comunicação Ethernet; uma interface homem-máquina com porta de comunicação Ethernet; e equipamentos necessários para comunicação com a estação central.

- Poço 03: um controlador lógico programável dotado de 16 entradas digitais, e 8 entradas analógicas, com porta de comunicação Ethernet; uma interface homem-máquina com porta de comunicação Ethernet; e equipamentos necessários para comunicação com a estação central.

- ETA: uma interface homem-máquina com porta de comunicação Ethernet e equipamentos necessários para comunicação com a estação central.

Desta forma, montou-se a topologia ilustrada na Figura 20. Os pontos essenciais a serem observados para esta escolha são listados na sequência.

- Escolha do CLP: disponibilidade de porta Ethernet com comunicação Modbus TCP incorporada e possibilidade de utilização de módulos de expansão para suprir a necessidade de entradas e saídas. É importante também avaliar o custo da licença do *software* para programação deste CLP.

- Escolha da IHM: disponibilidade de porta Ethernet com comunicação Modbus TCP incorporada e avaliação do custo de licença do *software* para programação da IHM – há também a possibilidade desta programação ser realizada através do *software* de programação do CLP (normalmente quando IHM e CLP são fornecidos pelo mesmo fabricante).

- Comunicação entre áreas: para efetivar a comunicação entre áreas, faz-se necessário a utilização de um rádio-modem. Tal equipamento tem como função principal o envio e recebimento de informações de uma estação para outra, disponibilizando-as para processamento por parte do CLP e da IHM. No que diz respeito às suas características, é fundamental, para este caso, a disponibilidade de porta Ethernet e compatibilidade com o protocolo de comunicação escolhido – Modbus TCP.

- Utilização de *switch* no Centro de Reservação: O CLP utilizado no Centro de Reservação comunica-se com três outros equipamentos através de cabos industriais Ethernet. A grande maioria dos controladores utilizados no mercado de automação industrial não possuem três portas Ethernet disponíveis, sendo fundamental a utilização dos *switches* para conexão do CLP com os demais equipamentos em campo. Para este caso, o switch deve ter, ao menos, quatro portas – é indicado prever portas adicionais para futuras expansões.

- Utilização de fibra óptica na ETA: Em virtude da distância entre rádio-modem e IHM, utilizou-se fibra óptica para estabelecimento da comunicação. Neste caso, faz-se necessário a utilização de um conversor de cabo Ethernet para fibra óptica.

Na Figura 30 apresenta-se uma proposta de topologia para o SAA. Já nos Anexos deste trabalho serão apresentados produtos utilizados nesta proposta e que atendem os requisitos detalhados acima.

Desta forma, encerra-se o Capítulo 03. Neste capítulo foi apresentado o Sistema de Abastecimento de Água da cidade de Ibaiti, no estado do Paraná, e suas necessidades de comunicação. Foram também levantados os critérios utilizados pela contratante do projeto em seus projetos elétricos e de automação. De posse destas informações, buscou-se avaliar quais seriam as possíveis soluções de comunicação a serem utilizadas no projeto e qual o motivo que levou a empresa contratante do projeto a definir a sua opção: Modbus TCP via Rádio Ethernet. No Capítulo 04, apresenta-se a conclusão do trabalho, destacando pontos importantes do trabalho e eventuais trabalhos futuros.

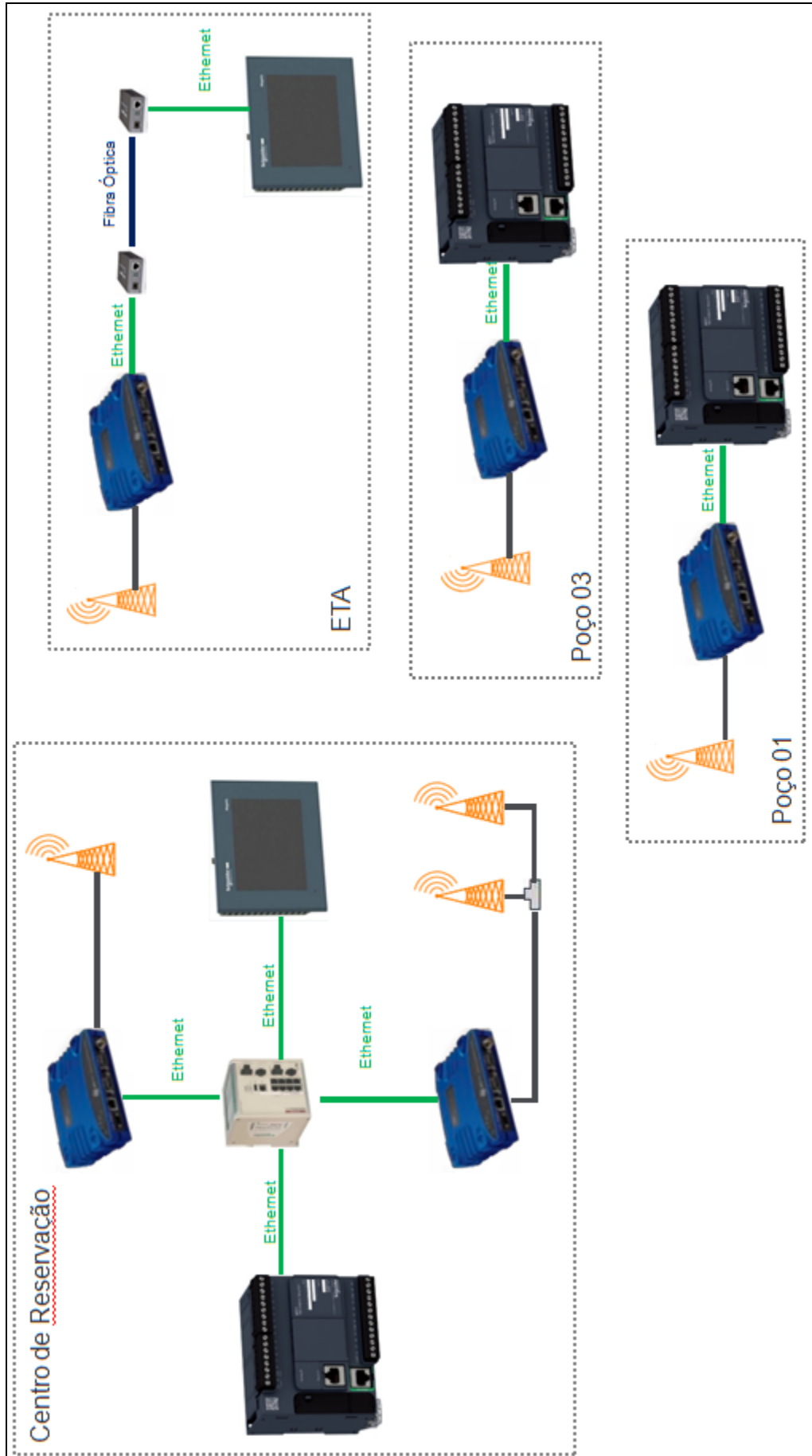


Figura 30: Topologia de automação para SAA

4 CONCLUSÃO

O Capítulo 04 tem como função concluir e encerrar este trabalho. O mesmo teve no Capítulo 01 uma função introdutória, justificando sua realização através do detalhamento do problema que seria estudado e quais os objetivos que esperava-se alcançar. Já no Capítulo 02 foi apresentado todo um referencial bibliográfico para embasar a sequência do trabalho – foram apresentados fundamentos básicos de redes industriais e os principais exemplos de protocolos de comunicação utilizados no mercado de automação industrial. Enfim, o Capítulo 03, anterior a este, concentrou-se na realização de um estudo de caso. Tal estudo tinha como intuito prover uma solução para a comunicação entre áreas remotas em um Sistema de Abastecimento de Água, localizado na cidade de Ibaiti, no estado do Paraná.

Ao seguir a estrutura detalhada acima, este trabalho satisfaz os seus principais objetivos. Através do cumprimento dos objetivos específicos, os quais concentravam-se na apresentação dos principais protocolos de comunicação em uso no mercado industriais, na verificação das principais solicitações do projeto elétrico e de automação do caso estudado, na proposição de eventuais de soluções para o problema proposto e posterior comparações entre estas soluções, foi definida a melhor opção para comunicação a ser utilizada no caso levantado, atingindo o objetivo geral do trabalho. Através de justificativas embasadas na literatura existente e nos pontos cruciais citados pela engenharia da contratante do projeto, a opção escolhida foi Modbus TCP via Rádio Ethernet. Em eventuais novos trabalhos vinculados a este, seria interessante simular a topologia proposta na prática para verificação de suas vantagens e desvantagens.

Outro ponto fundamental também foi verificado refere-se a não existência de apenas uma opção para a definição de um protocolo de comunicação em uma determinada aplicação. A escolha entre protocolos, os quais atendem perfeitamente a aplicação, se dá através da verificação de alguns critérios principais, tais como simplicidade de programação, interoperabilidade com sistemas já existentes, disponibilidade de material técnico, nas necessidades inerentes à velocidade na troca de dados e, principalmente, custo de instalação e manutenção.

Por fim, conclui-se que a realização deste trabalho foi de grande valia para o conhecimento de um profissional de automação industrial no que diz respeito a

redes industriais utilizadas no mercado e será importante para prosseguimento da minha carreira profissional, visto que, em um mercado cada vez mais competitivo, o provimento de soluções que atendem as necessidades solicitadas pelos contratantes, com o menor custo de implantação e manutenção, é ainda mais importante.

REFERÊNCIAS

ACROMAG INCORPORATED. **Introduction to Modbus TCP/IP**. 2005. Disponível em: <https://scadahacker.com/library/Documents/ICS_Protocols/Acromag%20-%20Introduction%20to%20Modbus-TCP.pdf>. Acesso em: 27 de mai. 2016

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano B. de; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo de. **Redes industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**: Fortaleza. Edições Livros Técnicos, 2007.

ARAÚJO FILHO, Clideonor Ferreira de. **Redes industriais**. 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABTHQAL/redes-industriais-parte2>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

ARTHAS, Kael. Tutorial Wireless. 2004. Site da Internet: **Tutorial Redes Wireless**. Disponível em: < <http://forum.baboo.com.br/index.php?/topic/269602-redes-wireless>>. Acesso em 21 de mar. 2016.

BAILEY, David. **Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry**. Perth, Australia. Newnes, 2003.

BORGES, Fátima. **Redes de Comunicação Industrial**. Documento Técnico no2. Schneider Eletric. Portugal, Edição de setembro de 2007. Disponível em: <http://www.schneiderelectric.pt/documents/product-services/training/doctecnico_redes.pdf>. Acesso em 18 abr. 2016.

BORGES, Johny de Freitas. **Redes industriais de comunicação**. Apostila do curso de Fundamentos de redes Industriais e Aplicações. Rev. 03. 2009. International Society of Automation - ISA Vitória – ES

CASAGRANDE, Jorge H. B. **Redes de computadores e a camada física**. 2005. Disponível em: < <http://www.sj.ifsc.edu.br/~msobral/RCO2/docs/casagrande/MODULO1/cap4/cap4.pdf> >. Acesso em 31 de jul. 2016.

CASSIOLATO, César. Redes Industriais. **Artigos Técnicos SMAR 2011**. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index150.html>>. Acesso em 18 abr. 2016.

CASSIOLATO, César; TORRES, Leandro H. B; PADOVAN Marco A. **Profibus – descrição técnica**. 2012. Disponível em: <http://www.profibus.org.br/files/DescricaoTecnica/PROFIBUS_DESC_TEC_2012.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2016.

CHIRIBAO, Nicolás C. **Dispositivos móveis como fornecedores de informação**. 2006. 42 f. Monografia (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Disciplina de Introdução a Projetos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **SAA – Ibaiti/PR**. Out. 2012. Projeto elétrico e de automação – Planta geral. Desenhista: Fabrício Garcia de Lima. Proj. n.: SAA-0116-2291-ELET-DE-04ETA-001-R0.

CORRÊA, Marco A. **Um sistema especialista para seleção de redes industriais**. 2003. 118 f. Tese (Mestrado em Automação Industrial) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2003.

DIAS, André L.; SESTITO, Guilherme S.; Fernandes Jr., Renato F.; Brandão, Dennis. **Comparação dos protocolos Profinet, Ethernet IP, Ethercat, Modbus TCP em função de sua aplicabilidade**. Revista Controle & Instrumentação. Edição 203. São Paulo, 2014.

FieldComm Group, **WirelessHART – How it Works**. Disponível em: <http://en.hartcomm.org/hcp/tech/wihart/wireless_how_it_works.html>. Acesso em 03 abr. 2016.

FILHO, Clidenor. **Redes Industriais – Parte 2 – Unidades 3 a 6**. 2005. Universidade de Uberaba. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABTHQAL/redes-industriais-parte2?part=2#>>. Acesso em 12 de mai. 2016

FLOWERS, D., et. al. **Microship Stack for the ZigBee protocol**. Relatório técnico AN965, Microchip Technology Inc', 2006.

HMS Industrial Networks, 2016. **Industrial network market shares 2016**. Disponível em: <http://www.controlsdrivesautomation.com/page_694235.asp>. Acesso em: 15 mai. 2016

JULIO, Marcelo de; FILHO, Osmar S.; FIORAVANTE, Diego A.; VOLSKI, Isabela. **Evolução histórica do sistema de abastecimento de água no município de**

Ponta Grossa/PR. Revista de Engenharia e Tecnologia. Ponta Grossa, v. 2, n° 2, ago. 2010.

JUNIOR, Alcir R. de Melo; MENDES, Luis A. Mattos. **Transmissão de dados por PLC: um estudo comparativo entre as tecnologias cabeadas e WI-FI.** 2009. Disponível em: < <http://www.unipac.br/site/bb/tcc/tcc-ad8073a1555f00fb37f8953f1322b08a.pdf> >. Acesso em 30 jul. 2016

LIMA, Fábio Soares de. **Estratégia de Escalonamento de Controladores PID Baseado em Regras Fuzzy para Redes Industriais Foundation Fieldbus Usando Blocos Padrões.** 2004. 68p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal – RN, 2004 Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/FabioSL.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Sistemas de redes para controle e automação:** Rio de Janeiro. Book Express, 2000.

LUGLI, Alexandre B. e SANTOS, Max M.D. **Redes industriais para automação industrial.** AS-I, Profibus e Profinet. 2. ed. São Paulo. Érica, 2010.
LUGLI, Alexandre B. e SANTOS, Max M.D. REDES INDUSTRIAIS: Evolução, Motivação e Funcionamento. **InTech América do Sul.** São Paulo, n. 137, p. 32 – 40, nov. 2011.

LUGLI, Alexandre B. e SOBRINHO, D. G. Tecnologias wireless para automação industriais: Wireless_Hart, Bluetooth, WISA, WI-FI, ZIGBEE e SP-100. In: BRAZIL AUTOMATION ISA 2012 – 16º CONGRESSO INTERNACIONAL E EXPOSIÇÃO DE AUTOMAÇÃO, SISTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO, 12, 2012, São Paulo, SP. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.inatel.br/biblioteca/index.php/modelos-de-trabalhos/doc_download/6088-tecnologias-wireless-para-automacao-industrial-wireless-hart-bluetooth-wisa-wi-fi-zigbee-e>. Acesso em 19 mar. 2016.

MARTINS, Elaine. **O que é VPN?** 2015. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/1427-o-que-e-vpn-.htm>>. Acesso em 30 jul. 2016.

Microsoft Corporation. **Definição das sete camadas do modelo OSI e explicação de suas funções.** 2013. Disponível em: <<https://support.microsoft.com/pt-br/kb/103884>>. Acesso em 24 abr. 2016.

MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial.** 2.ed. LTC, 2007

NOGUEIRA, Thiago A. **Redes de comunicação para sistemas de automação industrial**. 2009. 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

ODVA, 2015. **Technology and Standards**. Disponível em: <<https://www.odva.org/Technology-Standards>>. Acesso em 21 ago. 2016.

PESSOA, Marcelo W. e COURI, Bernardo A. B. Soluções de telemetria para saneamento. In: 26º ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, 08, 2015, São Paulo, SP. **Anais eletrônicos**...Disponível em: <http://www.fenasan.com.br/arquivos/2015/10h40_marcelo_pessoa_06-08_maria.pdf> . Acesso em 07 ago. 2016.

POWELL, James. **Profibus and Modbus: a comparison**. Disponível em: <<http://www.automation.com/automation-news/article/profibus-and-modbus-a-comparison>>. Acesso em 27 ago. 2016.

REINERT, Juliano H. e RIBEIRO, Eduardo P. **Ethernet na Indústria**. Revista RTI – Redes, Telecom e Instalações. São Paulo, n. 125, p. 108 – 115, out. 2010.

Revista Mecatrônica Atual. **Wireless na Indústria**. Ano 4 Nº23. São Paulo, ago./set. 2005. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1422-wireless-na-industria?showall=&limitstart=>>. Acesso em 20 mar. 2016.

REYNDERS, D.; MACKAY, S.; WRIGHT, E. **Practical industrial data communications: best practice techniques**. Pratical professional. Disponível em: <<http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/pdms/PracticalIndustrialDataCommunications.pdf>>. Acesso em 11 mai. 2016.

SEABRA, Hugo V. M. e LUGLI, Alexandre B. Redes sem fio para Automação Industrial: Estudo e Aplicação. In: II CONGRESSO DE AUTOMAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA SUCROENERGÉTICA, 08, 2014, Sertãozinho, SP. **Anais eletrônicos**...Disponível em: <<http://www.isasertaozinho.com.br/congresso/pdf/at08-alexandre-baratella-isa-redes-sem-fio-para-automacao-industrial.pdf>>. Acesso em 28 mar. 2016.

SILVA, Danielle S. e OLIVEIRA, José A. N. **Rede Ethernet como alternativa para chão de fábrica**. Disponível em: <http://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho3/trabalho3_4.pdf>. Acesso em 14 ago. 2016.

SMAR. **O que é PROFIBUS?** 2004. Disponível em:
<<http://www.smar.com/Brasil2/profibus.asp>> Acesso em 12 mai. 2016.
SMAR. **Tutorial DeviceNet.** 2011b. Disponível em:
<<http://www.smar.com/brasil2/devicenet.asp>>. Acesso em 15 mai. 2016.

TRES, C.; BECKER, L. B. **Desmistificando o Uso de Redes Sem Fio em Automação Industrial.** In: Congresso Internacional e Exposição Sul-Americana de Automação, Sistemas e Instrumentação, 13, 2009, São Paulo. Anais... São Paulo: ISA SHOW, 2009.

WEG, 2010. **CANOpen - PLC 300 – Manual do usuário.** Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-plc300-comunicacao-canopen-10000849433-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em 22 de mai. 2016.

ANEXO 1 - SWITCH

Product data sheet Characteristics

TCSESU083FN0

comutador Ethernet TCP/IP - ConneXium - 8 portas para cobre



Principal

Estado comercial	Comercializado
Linha de produto	ConneXium
Tipo de produto ou componente	Interruptor autônomo TCP/IP Ethernet
Conceito	Transparent Ready
Protocolo da porta de comunicação	TCP/IP Ethernet
Porta Ethernet	10BASE-T/100BASE-TX - 8 port(s) copper cable
Número máximo de interruptores em cascata	Ilimitado

Complementar

Tipo de conexão integrada	RJ45 blindado cabo de cobre
Meio de suporte de transmissão	Cabo pares trançados blindados CAT 6E para cabo de cobre
Comprimento do cabo	100 m cabo de cobre
Serviço Ethernet	Negociação automática de 10/100 Mbit/s e modo duplex MDI/MDX automático Mudança automática de polaridade Armazenamento e reencaminhamento de dados recebidos
Tensão nominal de fornecimento [Us]	24 V
Limites de tensão de alimentação	9.6...32 V SELV CC
Consumo de energia	4.1 W
Conexão elétrica	Conector removível 3 vias fonte de alimentação
Suporte de montagem	Calha DIN simétrica de 36 mm
Sinalização	CE
Sinalização local	1 LED por canal taxa de dados de 10 ou 100 Mbit/s 1 LED por canal atividade na porta de cobre 1 LED fonte de alimentação
Sistema de cabeamento Ethernet	Interruptores TF
Largura	36 mm
Altura	138 mm
Profundidade	121 mm
Peso do produto	0.246 kg

Meio-Ambiente

Temperatura ambiente do ar para funcionamento	0...60 °C
Umidade relativa	> 0...96 % sem condensação
Grau de proteção IP	IP30
Padrões	CSA C22.2 No 142 CUL 608
Certificações do produto	CE

Oferecer sustentabilidade

Status de oferta sustentável	Produto Não Green Premium
RoHS	Compliant - since 0940 - Schneider Electric declaration of conformity

Garantia contratual

Período	18 meses
---------	----------

Sep 4, 2018

Schneider
Electric

1

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the products contained herein. This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

ANEXO 2 – INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Product data sheet Characteristics

HMIGTO5310

advanced touchscreen panel 640 x 480 pixels
VGA- 10.4" TFT - 96 MB



Main

Range of product	Magelis GTO
Product or component type	Advanced touchscreen panel
Display colour	66636 colours
Display size	10.4 inch
Supply	External source
Battery type	Lithium battery for internal RAM, autonomy: 100 days, charging time = 6 d, battery life = 10 fr

Complementary

Terminal type	Touchscreen display
Display type	Backlit colour TFT LCD
Display resolution	640 x 480 pixels VGA
Touch sensitive zone	1024 x 1024
Touch panel	Resistive film, 1000000 cycles
Backlight lifespan	60000 hours (white) at 25 °C
Brightness	16 levels - control by software 16 levels - control by touch panel
Character font	ASCII Chinese (simplified Chinese) Japanese (ANIK, Kanji) Korean Taiwanese (traditional Chinese)
[Us] rated supply voltage	24 V DC
Supply voltage limits	19.2...28.8 V
Inrush current	<= 30 A
Power consumption in W	<= 17 W <= 8 W (when backlight is dimmed) <= 7 W (when backlight is OFF) <= 12 W (when power is not supplied to external devices)
Local signalling	SD card LED (green) faded card is not inserted or is not being accessed SD card LED (green) steady card is inserted COM2 LED (yellow) faded no data transmission COM2 LED (yellow) steady data is being transmitted Status LED (clear) faded power supply (OFF) Status LED (red) steady power supply (ON) Status LED (orange) flashing software starting up Status LED (green) steady operating Status LED (green) steady offline
Software designation	Vijeo Designer configuration software >= V6.1
Memory description	96 MB flash (EPROM)
Data backed up	512 kB internal RAM (SRAM)
Data storage equipment	SDHC card <= 32 GB SD card <= 32 GB

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the products of the Schneider Electric group. This information is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

ANEXO 3 – RÁDIO-MODEM ETHERNET

GE
Digital Energy

MDS SD Series

Long Range IP/Ethernet & Serial SD1, SD2, SD4 & SD9

Data Acquisition | Ethernet and Serial

The MDS™ SD Series are industrial wireless solutions that provide long distance communications over licensed radio bands, allowing users to interface to both Ethernet and serial devices such as PLCs, RTUs and meters with host monitoring and control systems.

The SD Series is the latest generation of MDS licensed narrowband wireless devices providing exceptional communication performance and reliability to meet demands for IP/Ethernet services as well as support for multiple devices and host systems. The SD is compatible with previous generations allowing for a smooth and controlled migration for existing systems.

Key Benefits

- High speed, up to 65 Kbps in 50 KHz channel in SD2 and SD9
- Operate IP/Ethernet and serial communication on a single network
- Connect multiple host systems to a single Access Point radio
- Connect multiple devices to a single remote radio
- Implement push communication and report by exception from remote devices
- Simple, intuitive web based configuration and maintenance
- Easy migration path from serial to IP/Ethernet
- Backward compatible with existing MDS x710 networks

Application Specific Wireless Solution



Oil & Gas

- Remote data collection from meters and flow devices
- Monitor and transmit wellhead performance and status data collected by RTUs



Energy

- Remote control of IEDs and controllers at distribution substations
- Condition monitoring for pole-top circuit breakers and capacitor banks



Water & Wastewater

- Monitor lift stations across multiple sites from control room
- Communicate with remote PLCs controlling tank levels and water flow



Heavy Industrial

- Activation of perimeter gates based on detection of vehicle
- Monitor and control remote pumps and compressors



Imagination at work



Industrially Hardened

- Operational temperature range from -40°C to 70°C
- CSA Class I, Div. 2 groups A,B,C,D for Hazardous Locations
- IEEE1613, IEC 61850-3 and EN61000 for electric substation environments

Application Flexibility

- Supports two serial ports and an IP/Ethernet port simultaneously
- Broad coverage flexibility over distances up to 50 miles
- Extend Communication paths using single radio Store and Forward
- Supports Ethernet Bridging, IP to serial and serial to serial communications
- Low power consumption with sleep mode for solar and battery powered applications
- Fast-serial features with embedded terminal server functions for serial to IP/ Ethernet encapsulation

Reliable & Scalable

- Exclusive, non-shared licensed band operation
- High performance Media Access Control for asynchronous polling and exception reporting
- Collision detection and avoidance insures data arrives at destination without lost messages
- High receive sensitivity for long distance communications
- Compatible with multiple industry protocols including Modbus, Modbus TCP, and DNP3

Secure

- AES 128-bit data encryption
- Password protected access
- VLAN data segregation

ANEXO 4 – MÓDULO DE EXPANSÃO DE ENTRADAS ANALÓGICAS

Product data sheet Characteristics

TM3AI8 module TM3 - 8 analog inputs



Main

Range of product	Modicon TM3
Product or component type	Analog input module
Range compatibility	Modicon M221 Modicon M241 Modicon M261
Analogue input number	8
Analogue input type	Voltage, analogue input range: - 10...10 V Voltage, analogue input range: 0...10 V Current, analogue input range: 0...20 mA Current, analogue input range: 4...20 mA

Complementary

Analogue input resolution	11 bits + sign 12 bits
Permissible continuous overload	40 mA current 13 V voltage
Input impedance	>= 1 MOhm voltage <= 50 Ohm current
LSB value	3.91 µA, analogue input: 4...20 mA current 4.88 µA, analogue input: 0...20 mA current 4.88 mV, analogue input: - 10...10 V voltage 2.44 mV, analogue input: 0...10 V voltage
Conversion time	1 ms + 1 ms per channel + 1 controller cycle time
Sampling duration	<= 1 ms
Absolute accuracy error	+/- 0.2 % of full scale at 25 °C +/- 1 % of full scale
Temperature drift	+/- 0.01 %FS/°C
Repeat accuracy	+/-0.5 %FS
Non-linearity	+/- 0.2 %FS
Cross talk	<= 1 LSB
[Us] rated supply voltage	24 V DC
Supply voltage limits	20.4...28.8 V
Type of cable	<= 30 m twisted shielded pairs cable for input circuit
Current consumption	40 mA at 24 V DC (full load) via external supply 30 mA at 24 V DC (no load) via external supply 36 mA at 5 V DC (no load) via bus connector 40 mA at 5 V DC (full load) via bus connector
Local signalling	1 LED green for PWR
Electrical connection	10 x 1.6 mm ² removable screw terminal block with pitch 3.81 mm adjustment for inputs 10 x 1.6 mm ² removable screw terminal block with pitch 3.81 mm adjustment for inputs and supply
Insulation	600 V AC between input and internal logic 1600 V AC between input and supply
Marking	CE
Surge withstand	1 kV for input with common mode protection conforming to EN/IEC 61000-4-5 0.6 kV for power supply with differential mode protection conforming to EN/IEC 61000-4-5 1 kV for power supply with common mode protection conforming to EN/IEC 61000-4-5
Mounting support	Plate or panel with fixing kit Top hat type TH36-7.6 rail conforming to IEC 60715 Top hat type TH36-16 rail conforming to IEC 60715

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the performance of the products contained herein. This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

ANEXO 5 – MÓDULO DE EXPANSÃO DE ENTRADAS ANALÓGICAS

Product data sheet Characteristics

TM3AQ4 module TM3 - 4 analog outputs



Main

Range of product	Modicon TM3
Product or component type	Analog output module
Range compatibility	Modicon M221 Modicon M241 Modicon M261
Analogue output number	4
Analogue output type	- 10...10 V voltage 0...10 V voltage 0...20 mA current 4...20 mA current

Complementary

Analogue input resolution	11 bits + sign 12 bits
Analogue output resolution	11 bits + sign 12 bits
LSB value	3.91 μ A, analogue input: 4...20 mA current 4.88 μ A, analogue input: 0...20 mA current 4.88 mV, analogue input: - 10...10 V voltage 2.44 mV, analogue input: 0...10 V voltage
Load type	Resistive
Load impedance ohmic	300 Ohm current 1 kOhm voltage
Stabilisation time	1 ms
Conversion time	1 ms + 1 ms per channel + 1 controller cycle time
Absolute accuracy error	+/- 0.2 % of full scale at 26 °C +/- 1 % of full scale
Temperature drift	+/- 0.01 %FS/°C
Repeat accuracy	+/- 0.4 %FS
Non-linearity	+/- 0.2 %FS
Output ripple	20 mV
Cross talk	<= 1 LSB
[Us] rated supply voltage	24 V DC
Supply voltage limits	20.4...28.8 V
Type of cable	<= 30 m twisted shielded pairs cable for output circuit
Current consumption	126 mA at 24 V DC (full load) via external supply 60 mA at 24 V DC (no load) via external supply 60 mA at 5 V DC (full load) via bus connector 40 mA at 5 V DC (no load) via bus connector
Local signalling	1 LED green for PWR
Electrical connection	11 x 2.6 mm ² removable screw terminal block with pitch 5.08 mm adjustment for outputs and supply
Insulation	600 V AC between output and internal logic 1600 V AC between output and supply
Marking	CE
Surge withstand	1 kV for output with common mode protection conforming to EN/IEC 61000-4-5 0.6 kV for power supply with differential mode protection conforming to EN/IEC 61000-4-5 1 kV for power supply with common mode protection conforming to EN/IEC 61000-4-5

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the performance of the products contained herein. This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

ANEXO 5 – CONTROLADOR LÓGICO-PROGRAMÁVEL

Product data sheet Characteristics

TM221CE40R controller M221 40 IO relay Ethernet



Main

Range of product	Modicon M221
Product or component type	Logic controller
[Us] rated supply voltage	100...240 V AC
Discrete input number	24 discrete input conforming to IEC 61131-2 Type 1 including 4 fast input
Analogue input number	2 at input range: 0...10 V
Discrete output type	Relay normally open
Discrete output number	16 relay
Discrete output voltage	5...260 V AC 5...126 V DC
Discrete output current	2 A

Complementary

Discrete I/O number	40
Number of I/O expansion module	<= 7 with <= 48 discrete output(s) for relay output
Supply voltage limits	85...264 V
Network frequency	50/60 Hz
Inrush current	<= 40 A
Power consumption in VA	<= 70 VA at 100...240 V
Discrete input logic	Sink or source (positive/negative)
Discrete input voltage	24 V
Discrete input voltage type	DC
Analogue input resolution	10 bits
LSB value	10 mV
Conversion time	1 ms per channel + 1 controller cycle time for analog input
Permitted overload on inputs	+/- 16 V DC for analog input permanent +/- 30 V DC for analog input with 5 min maximum
Voltage state 1 guaranteed	>= 16 V for input
Current state 1 guaranteed	>= 2.6 mA for input
Voltage state 0 guaranteed	<= 6 V for input
Current state 0 guaranteed	<= 1 mA for input
Discrete input current	7 mA for input
Input impedance	100 kOhm for analog input 3.4 kOhm for discrete input
Response time	10 ms turn-off operation for output 10 ms turn-on operation for output 6 µs turn-off operation for fast input 6 µs turn-on operation for fast input 100 µs turn-off operation for input; I8...I16 terminal 100 µs turn-on operation for input; I8...I16 terminal 36 µs turn-off operation for input; I2...I6 terminal 36 µs turn-on operation for input; I2...I6 terminal
Configurable filtering time	12 ms for input 3 ms for input 0 ms for input
Output voltage limits	277 V AC 126 V DC
Current per output common	8 A
Absolute accuracy error	+/- 1 % of full scale for analog input

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the products of the Schneider Electric group. It is the duty of any user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.