

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

THOMAZ EDISON BUDNE

**ETHERNET INDUSTRIAL: PROTOCOLO ETHERNET NO AMBIENTE  
INDUSTRIAL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2019

THOMAZ EDISON BUDNE

**ETHERNET INDUSTRIAL: PROTOCOLO ETHERNET NO AMBIENTE INDUSTRIAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA  
2019



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Curso de Especialização em Automação Industrial



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

ETHERNET INDUSTRIAL: PROTOCOLO ETHERNET NO AMBIENTE  
INDUSTRIAL

por

THOMAZ EDISON BUDNE

Esta monografia foi apresentada em 05 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Valmir de Oliveira  
Orientador

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Membro titular

---

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho a minha família que se me apoiaram em todos os momentos da minha vida pessoal e profissional.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todos que de alguma maneira fizeram parte dessa etapa da minha vida, nela incluindo todos os professores do curso juntamente com todos os colegas e amigos que ao longo da especialização colaboraram com essa conquista.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Valmir de Oliveira, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Boa sorte é o que acontece quando a  
oportunidade encontra o planejamento.

(Thomas Edison, 1879)

## RESUMO

BUDNE, Thomaz Edison. **Ethernet industrial: Protocolo Ethernet no ambiente industrial**. 2019. 38 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma análise teórica do protocolo Ethernet dentro do ambiente industrial detalhando suas características e funcionalidades sendo o protocolo uma tendência dentro da proposta IoT (Internet of Things). As redes do tipo PROFIBUS e Fieldbus, por exemplo, são constituídas por sistemas proprietários e redes determinísticas sendo tecnologias dedicadas fazendo com que as redes de comunicação sejam isoladas dentro das empresas, sem a interligação com o ambiente corporativo. Porém com o avanço da tecnologia e sua aplicação dentro da indústria é necessário que haja integração dos sistemas industriais e de TI (tecnologia da informação) para que os processos sejam mais confiáveis e otimizados onde o protocolo Ethernet permite tal interligação. O sistema Ethernet está disponível comercialmente para aplicação na indústria nos tipos Ethernet/IP, EtherCAT, PROFINET entre outros onde serão apresentadas as características do protocolo PROFINET da empresa alemã Siemens neste trabalho.

**Palavras-chave:** Ethernet. PROFINET. Indústria. Redes.

## **ABSTRACT**

BUDNE, Thomaz Edison. **Industrial Ethernet: Ethernet protocol in the industry.** 2019. 38 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This paper aims to present a theoretical analysis of the Ethernet protocol within the industry detailing its technical features and functionalities being this protocol a trend within the IoT (Internet of Things) proposal. PROFIBUS and Fieldbus networks, for example, are constituted of proprietary systems and deterministic networks being dedicated technologies that make communication networks isolated within companies, without interconnection with the corporate environment. However, with the advancement of technology and its application within the industry, it is necessary to integrate industrial systems and IT (information technology) so that the processes can be more reliable and optimized where the Ethernet protocol allows such interconnection. The Ethernet system is commercially available for industrial application in Ethernet / IP, EtherCAT, PROFINET and others where we will present features of the PROFINET protocol of the German company Siemens in this work.

**Keywords:** Ethernet. PROFINET. Industry. Network.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conceito de camadas OSI .....	17
Figura 2 – Modelo de referência OSI .....	22
Figura 3 – Modelo de referência TCP/IP .....	23
Figura 4 – Conector RJ45 IP20 .....	26
Figura 5 – Conector RJ45 IP67 para aplicação industrial .....	26
Figura 6 – Codificação Manchester .....	27
Figura 7 – Perspectivas de PROFINET .....	32
Figura 8 – Estrutura das classes de conformidade .....	34
Quadro 1 – Diferenças entre protocolos IEEE 802.3 e Ethernet .....	30

## LISTA DE SIGLAS

ASE	<i>App Service Environments</i> – ambiente de serviço de aplicativo
CC	<i>Conformance Class</i> – classes de conformidade
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection</i> – Sensor da Portadora com Acesso Múltiplo e Detecção de Colisão
DAP	<i>Device Access Point</i> – ponto de acesso do dispositivo
DoD	<i>U.S. Department of Defense</i> – Departamento de Defesa dos EUA
GSD	<i>General Station Description</i> – descrição geral da estação
GSDML	<i>General Station Description Markup Language</i> – descrição geral da estação Linguagem de marcação
LAN	<i>Local Area Networks</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IP	<i>Ingress Protection</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PC	<i>Personal Computer</i> – computador pessoal
PD	<i>Programming Device</i> – dispositivo de programação
PI	PROFINET <i>International</i>
PROFINET	<i>Process Field Network</i>
RT	Real Time – tempo real
SAP	<i>Service Access Point</i> – Ponto de Acesso a Serviços
SDCD	Sistemas Digitais de Controles Distribuídos
TCP/IP	TCP – <i>Transmission Control Protocol</i> e IP – <i>Internet Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	11
1.2 PROBLEMA .....	12
1.3 OBJETIVOS .....	12
1.3.1 Objetivo Geral .....	12
1.3.2 Objetivos Específicos .....	12
1.4 JUSTIFICATIVA .....	13
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>15</b>
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE REDES DE COMUNICAÇÃO .....	15
2.2 MODELO OSI .....	16
2.2.1 Camada de Aplicação .....	18
2.2.2 Camada de Apresentação .....	18
2.2.3 Camada de Sessão .....	19
2.2.4 Camada de Transporte .....	19
2.2.5 Camada de Rede .....	20
2.2.6 Camada de Enlace .....	21
2.2.7 Camada Física .....	21
2.3 TCP/IP .....	22
<b>3 ETHERNET</b> .....	<b>24</b>
3.1 CAMADA FÍSICA PARA REDES ETHERNET INDUSTRIAIS .....	25
3.2 MÉTODOS DE CODIFICAÇÃO .....	27
3.3 TRANSMISSÃO DE DADOS .....	27
3.4 RECEPÇÃO DE DADOS .....	28
3.5 FRAME MAC .....	29
3.6 CAMADA LLC .....	29
3.7 DIFERENÇAS ENTRE PROTOCOLOS IEEE 802.3 E ETHERNET .....	30
<b>4 PROTOCOLO PROFINET</b> .....	<b>31</b>
4.1 PERSPECTIVAS DO PROFINET .....	31
4.1.1 PROFINET I/O .....	32
4.1.2 Modelagem de um Dispositivo PROFINET .....	33
4.2 CLASSES DE CONFORMIDADE .....	34
4.3 COMUNICAÇÃO .....	34
4.4 ARQUIVO GSD .....	35
4.5 TOPOLOGIA DE REDE PROFINET .....	36
4.6 CABEAMENTO EM PROFINET .....	36
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A modernização das indústrias e seus respectivos processos aumentou consideravelmente a complexidade dos sistemas de controle e protocolos de comunicações. A Ethernet é de longe a mais amplamente instalada rede local, com tecnologia popular e sendo utilizada em redes residenciais e comerciais. Tendo como vantagens a rápida instalação, facilidade na implantação e com adaptadores economicamente viáveis. A maioria, se não todos, os computadores têm uma rede Ethernet incorporada em sua interface, sendo uma das razões pelas quais tem número crescente de fornecedores de automação industrial desenvolvendo e implantando o protocolo Ethernet nas mais variadas soluções industriais (DECOTIGNIE, 2019).

A rede Ethernet foi desenvolvida durante a década de 70 e foi lançada comercialmente no início da década seguinte. Exigindo alguns parâmetros tais como meio físico de conexão (cabramento), controle de acesso dos dados na rede de informação sendo baseados nas normas IEEE 802-2 e IEEE 802-3 (IEEE, 2006). Redes Ethernet se baseiam em sistema hierárquico de múltiplas camadas que controlam uma série de equipamentos, dispositivos, processos e inclusive o planejamento de produção, controle de estoque entre outros. Inicialmente não permitindo o determinismo, pois trabalham com colisão de dados. Os protocolos de campo do tipo Fieldbus como Modbus, PROFIBUS, HART e Fieldbus Foundation são baseados em redes determinísticas (diferentemente do Ethernet básico) e possuem tecnologias dedicadas.

Especificamente com relação ao protocolo de comunicação PROFINET (*Process Field Network*), trata-se de uma rede baseada em um padrão de comunicação Ethernet Industrial padronizado pelas normas IEC 61158-5 e IEC 61158-6. O protocolo de comunicação PROFINET foi desenvolvido para ser um sistema de comunicações aberto e capaz de se comunicar com os diferentes sistemas BUS através de um servidor *proxy* que funciona como *gateway* transferindo dados Fieldbuses para o PROFINET onde se dá a implementação do controle (IEEE, 2006).

## 1.2 PROBLEMA

A necessidade de maior sofisticação, confiabilidade e integração das redes industriais e corporativas de telecomunicação criaram a necessidade de que um sistema controlasse de forma hierárquica múltiplas camadas em uma série de equipamentos, dispositivos, processos e inclusive o planejamento de produção, controle de estoque entre outros. Com isso a rede Ethernet surgiu apresentado-se ao setor industrial como uma rede que, entre outras vantagens, apresenta alta velocidade na transmissão de dados, topologia flexível e facilidade de integração e manutenção e razoavelmente bem difundida.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar uma análise teórica e prática do uso do protocolo Ethernet no ambiente Industrial, detalhando suas características e funcionalidades e por fim detalhar o protocolo de comunicação PROFINET, desenvolvido pela Siemens (SIEMENS, 2018).

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Realizar uma análise detalhada da rede Ethernet desde o desenvolvimento e necessidade de suas funcionalidades no ambiente corporativo alcançando o ambiente industrial. Com base no modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), camada física e camada de enlace, sendo que a camada física define tipos de cabos, conectores e características elétricas e a camada de enlace define o formato do quadro de mensagem, o método de verificação de erros e o método de endereçamento físico. Além dessas o modelo OSI também apresenta a terceira camada que decide o caminho físico por onde os dados trafegam, com base nas características da rede e de prioridade. Há ainda as camadas de transporte, apresentação, sessão e aplicação. Normalmente nenhuma rede de comunicação utiliza-se de todas as camadas indicadas no modelo OSI.

Um detalhamento relativo ao protocolo Siemens PROFINET (SIEMENS, 2018), protocolo aberto de comunicação industrial, baseado no Fast Ethernet, que manteve do padrão Ethernet original e sua forma de endereçamento, o formato, o tamanho do *Frame* e o mecanismo de detecção de erros.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Visto o grau de importância de uma maior sofisticação, confiabilidade e integração no que se refere a protocolos de comunicação e devido ao baixo custo de implementação, alta velocidade e performance a rede Ethernet tem tido uma grande popularidade na implantação industrial e no desenvolvimento tecnológico. A automatização dos processos para aumento de produção e reduções de custos e a integração dos ambientes corporativo e industrial composto de um sistema hierárquico de múltiplas camadas que controla uma série de equipamentos, dispositivos, processos e inclusive planejamento de produção e controle de estoque, visto que o mercado exige uma visão única (holística) dos seus sistemas (DECOTIGNIE, 2019).

Com o desenvolvimento da tecnologia os principais fabricantes de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) ou Sistemas Digitais de Controles Distribuídos (SDCD) aprimoraram e desenvolveram, para não somente suportar sistemas de fieldbus específicos, mas também a rede do tipo Ethernet. Um exemplo de protocolo de comunicação Ethernet é o PROFINET onde o mesmo permite montar arranjos de rede de diversas formas: em linha, árvore, anel, estrela, suportando anéis redundantes e tecnologias *wireless*, *bluetooth* e suas combinações. A verticalização de dados com a TI (Tecnologia da Informação), usando navegador e dados padronizado, facilitando o diagnóstico operacional e de manutenção de dispositivos no âmbito de gestão de dados é um dos motivos pelos quais o PROFINET vem se desenvolvendo e sendo aplicado cada vez mais na indústria (PROFINET, 2018).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia de especialização está dividida em 5 (cinco) seções. Nesta primeira seção foi introduzido o assunto tema do trabalho e também foram abordados a motivação e os objetivos geral e específicos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Na segunda seção: “Desenvolvimento”, será realizada uma fundamentação teórica sobre redes de comunicação. Serão apresentados os conceitos sobre as redes de comunicação desde tipos de redes aprofundando-se no protocolo de comunicação Ethernet. Introduzindo a teoria sobre o modelo OSI detalhando cada uma de suas camadas, topologias e meio físico.

Já na terceira seção: “Ethernet”, será abordado as redes industriais apresentando, onde será abordado o histórico das redes comerciais e industriais e apresentando os tipos de redes Fieldbus e Ethernet e suas características.

Na quarta seção: “Protocolo PROFINET”, apresentando as características e demonstrando suas funcionalidades como tipo de topologia, canais de comunicação, modelo, software de comunicação e meio físico.

Por último na quinta seção: “Conclusão”, serão retomados a pergunta de pesquisa como as vantagens de utilização e a tendência de aplicação e integração da rede nos ambientes comerciais e industriais.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE REDES DE COMUNICAÇÃO

As redes de comunicação permitem transmissões de dados de um lugar para outro. Nessa linha de pesquisa e tecnologia são englobados aspectos físicos e de aplicação. A tecnologia para redes locais *Local Area Networks* (LAN) foi desenvolvida na década de 1970 por fabricantes de minicomputadores para conectar terminais de usuários separados por uma longa distância dos computadores servidores. Isto permitiu o compartilhamento de equipamentos periféricos caros, bem como seus dados que existiam anteriormente em apenas um local físico (XUEPEI; XIE, 2019). LAN é um caminho de comunicação entre um ou mais computadores, servidores de arquivos, terminais, estações de trabalho e vários outros equipamentos periféricos inteligentes, geralmente chamados de dispositivos ou *hosts*.

Uma LAN permite o acesso a dispositivos a serem compartilhados por vários usuários, com conectividade total entre todas as estações da rede. A conexão de um dispositivo em uma LAN é feita através de um nó, onde nó é qualquer ponto onde um dispositivo está conectado, e cada nó recebe um número de endereço exclusivo. Cada mensagem enviada na LAN deve ser prefixada com o endereço exclusivo do destino e todos os dispositivos conectados aos nós também procuram as mensagens enviadas a seus próprios endereços na rede. As LANs operam em velocidades relativamente altas (a partir de Mbps) com um meio de transmissão compartilhado em uma área geográfica (local) pequena.

Protocolos de comunicação são essenciais para definir o formato e procedimentos comuns de mensagens para transferência de dados entre todos os dispositivos na rede. Os protocolos apresentam como características os seguintes itens:

- **Inicialização:** Inicializa os parâmetros do protocolo e inicia os dados transmissão.
- **Framing** ou enquadramento e sincronização: Que define o início e o fim do *Frame* e como o receptor pode sincronizar com o fluxo de dados.



- Controle no fluxo de dados: Garante que o receptor possa aconselhar o transmissor a regular o fluxo de dados e garantir que nenhum dado seja perdido.
- Controle de linha: Usado com links *half-duplex* para reverter as funções do transmissor receptor e iniciar a transmissão na outra direção.
- Controle de erro: Fornece técnicas para verificar a precisão dos dados recebidos para identificar erros de transmissão. Isso inclui verificações de redundância de bloco e verificações cíclicas de redundância.
- Controle de tempo limite: Procedimentos para os transmissores tentarem novamente ou abortarem a transmissão quando os reconhecimentos não são recebidos dentro dos prazos acordados.

Para compreender os termos relativos a redes e protocolos é necessário apresentar o Modelo de referência da ISO, Modelo OSI (em inglês *Open Systems Interconnection*) que tem como principal objetivo ser um modelo padrão para protocolos de comunicação entre diversos tipos de sistema que garanta a comunicação *end-to-end*.

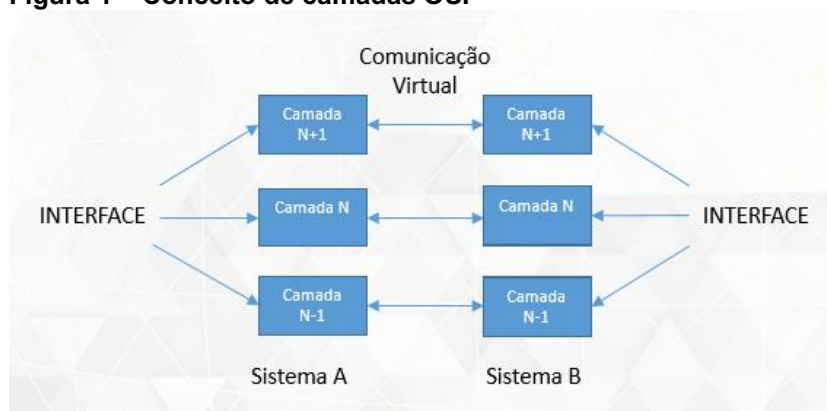
## 2.2 MODELO OSI

O modelo de referência OSI é a estrutura que mudou e ajudou no desenvolvimento das LANs. É utilizado em sistemas abertos (ou OSI). O objetivo deste modelo é fornecer uma estrutura para a coordenação e desenvolvimento de padrões permitindo que ambas atividades padrão, existentes e em desenvolvimento serem definidas dentro de uma estrutura comum.

Diante da proliferação de sistemas de redes fechadas, em 1978 o *International Standards Organization* (ISO) definiu um Modelo de Referência para Comunicação entre Sistemas Abertos, que ficou conhecida como OSI (*Open Systems Interconnection*) ou simplesmente como o modelo ISO / OSI (ISO 7498). OSI é essencialmente uma estrutura de gerenciamento de dados de comunicação, que divide as comunicações de dados em uma hierarquia gerenciável de sete camadas. Cada camada tem um propósito definido e *interfaces* com as camadas acima e abaixo entre si. Ao estabelecer padrões para cada camada, alguma flexibilidade é permitida para que os projetistas do sistema possam desenvolver

protocolos para cada camada independentes uma da outra. Uma vez em conformidade com os padrões OSI, um sistema é capaz de comunicar-se com qualquer outro sistema compatível em qualquer lugar do mundo. Deve-se perceber desde o início que o modelo de referência OSI não é um protocolo ou conjunto de regras sobre como um protocolo deve ser escrito, mas sim uma estrutura geral com o objetivo de definir protocolos. A estrutura do modelo OSI define e especifica claramente funções ou serviços cujo os quais precisam ser fornecidos em cada uma de suas sete camadas (ou níveis). Como deve haver pelo menos dois locais para se comunicar, cada camada conversa com sua camada par na outra extremidade do canal de comunicação em um ambiente virtual Comunicação ("lógica"). Esses conceitos de isolamento do processo de cada camada, juntamente com interfaces padronizadas e comunicação virtual ponto a ponto, são fundamentais para os conceitos desenvolvidos em um modelo em camadas, como o modelo OSI (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 21). Conforme descrito na Figura 1, conceito de camadas OSI é mostrado.

**Figura 1 – Conceito de camadas OSI**



**Fonte: Adaptado de Reynders e Wright (2003).**

No modelo OSI, a entidade na camada superior é chamada de entidade  $N + 1$  e a entidade na próxima camada inferior como  $N - 1$ . Os serviços disponíveis para as camadas superiores são o resultado dos serviços prestados por todas as camadas inferiores. As funções e os recursos esperados em cada camada são especificados no modelo. No entanto, o modelo não prescreve como essa funcionalidade deve ser implementada, o foco no modelo está na "interconexão" e nas informações que podem passar por esta conexão. O modelo OSI não se preocupa com operações internas dos sistemas envolvidos. As camadas de serviço do modelo OSI são

divididas em: a) Aplicação, b) Apresentação, c) Sessão, d) Transporte, e) Rede, f) Enlace e g) Física.

### 2.2.1 Camada de Aplicação

A camada de aplicação é a camada superior no modelo de referência OSI. Essa camada é responsável por conceder aos aplicativos o acesso à rede. Exemplos de tarefas da camada de aplicação inclui transferência de arquivos, serviços de correio eletrônico (*e-mail*) e gerenciamento de rede. Os serviços da camada de aplicação são muito mais variados do que os serviços das camadas inferiores, porque toda a gama de possibilidades de aplicativos e tarefas está disponível nesta camada. Os detalhes específicos dependem da estrutura ou modelo que está sendo usado, por exemplo, existem vários aplicativos de gerenciamento de rede cada um deles fornece serviços e funções especificados em estruturas diferentes para gerenciamento de uma rede. Os programas podem ter acesso aos serviços da camada de aplicação por meio de ambiente de serviço de aplicativo (*App Service Environments - ASE*). Há uma variedade de tais elementos de serviço de aplicativo; cada um projetado para uma classe de tarefas. Para realizar suas tarefas, a camada de aplicação transfere as solicitações e dados do programa para a camada de Apresentação, responsável pela codificação dos dados da camada de Aplicação na forma apropriada.

### 2.2.2 Camada de Apresentação

A camada de apresentação é responsável por apresentar as informações de maneira adequada para os aplicativos ou usuários que lidam com as informações. Funções como conversão de dados de EBCDIC a ASCII (ou vice-versa), uso de gráficos ou conjuntos de caracteres especiais, dados compactação ou expansão e criptografia ou descryptografia de dados são realizadas nessa camada. A camada de apresentação fornece serviços para a camada de Aplicação acima dela e usa a camada de Sessão abaixo dela. Na prática, a camada de apresentação raramente aparece em forma pura e é o menos definido das camadas OSI. Os programas da camada de Aplicação ou de Sessão geralmente abrangem algumas ou todas as funções da camada de Apresentação.

### 2.2.3 Camada de Sessão

A camada de sessão é responsável por sincronizar e sequenciar o diálogo e os pacotes em uma conexão de rede. Essa camada também é responsável por garantir que a conexão seja mantida até que a transmissão esteja concluída e garantindo que medidas de segurança sejam toa pela camada de Apresentação acima dela e usa a camada de Transporte abaixo dela.

### 2.2.4 Camada de Transporte

No modelo de referência OSI, a camada de transporte é responsável por fornecer a transferência de dados em um nível de qualidade acordado, como por exemplo as velocidades de transmissão especificadas, erro e taxas. Para garantir a entrega, os pacotes de saída recebem números em sequência sendo eles incluídos nos pacotes transmitidos pelas camadas inferiores. O transporte A camada na extremidade receptora verifica os números dos pacotes para garantir que todos foram entregues e colocar o conteúdo do pacote na sequência adequada para o destinatário (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 19). A camada de Transporte fornece serviços para a camada de Sessão acima dela e usa a camada de rede abaixo dela para encontrar uma rota entre a origem e o destino. A camada de transporte é crucial de várias maneiras, pois fica entre as camadas superiores (que são fortemente dependentes da aplicação) e os inferiores (que são baseados em rede). As camadas abaixo da camada de Transporte são coletivamente conhecidas como camadas de sub redes. Dependendo do desempenho (ou não) de suas funções, a camada de transporte deve interferir menos (ou mais) para manter uma conexão confiável.

No modelo OSI as sub redes da classe de serviços são divididas em três tipos:

- Tipo A: Serviço muito confiável e orientado à conexão.
- Tipo B: Serviço não confiável e orientado à conexão.
- Tipo C: Serviço não confiável e possivelmente sem conexão.

Para fornecer os recursos necessários para qualquer tipo de serviço aplicável o Modelo OSI faz a divisão dos protocolos da camada Transportes em:

- TP0 (protocolo de transferência classe 0): Protocolo mais simples. Ele assume o serviço do tipo A isto é, uma sub-rede que faz a maior parte do trabalho para a camada de transporte. Como a sub-rede é confiável, TP0 não requer detecção ou correção de erros. Pois a conexão é a conexão orientada, os pacotes não precisam ser numerados antes da transmissão.
- TP1 (protocolo de transferência classe 1): Assume uma sub-rede do tipo B, que pode não ser confiável, portanto TP1 fornece sua própria detecção de erros, além de facilidades para obter remetente e retransmitir quaisquer pacotes incorretos.
- TP2 (protocolo de transferência classe 2): Assume uma sub-rede do tipo A. No entanto, o TP2 pode multiplexar transmissões, para que várias conexões de transporte possam ser sustentadas em uma única conexão de rede.
- TP3 (protocolo de transferência classe 3): Assume uma sub-rede do tipo B. O TP3 também pode multiplexar transmissões, já que o protocolo possui os recursos de TP1 e TP2.
- TP4 (protocolo de transferência classe 4): É o protocolo mais poderoso, na medida em que faz suposições mínimas sobre os recursos e a confiabilidade da sub-rede. TP4 é o único dos protocolos camada de transporte OSI que suportam serviço sem conexão.

#### 2.2.5 Camada de Rede

A camada de rede é a terceira camada mais baixa ou a camada de sub-rede superior responsável pelas seguintes tarefas:

- Determinar endereços ou traduzir hardwares para endereços de rede. Esses endereços podem estar em uma rede local ou podem se referir a redes localizadas em outros lugares. Uma das funções da rede camada é de fato fornecer os recursos necessários para se comunicar-se entre si.
- Localizar uma rota entre uma fonte e um nó de destino ou entre dois dispositivos intermediários.

- Estabelecendo e mantendo uma conexão lógica entre esses dois nós, para estabelecer uma comunicação sem conexão ou orientada a conexão. Os dados são processados e transmitidos usando a camada de Enlace de dados logo abaixo da camada de Rede. A camada de Transporte é responsável por garantir a entrega adequada dos pacotes, cuja a qual utiliza serviços da camada de Rede.
- Fragmentação de grandes pacotes de dados em quadros pequenos o suficiente para serem transmitidos pela camada de Enlace de dados subjacente (fragmentação). A camada de Rede correspondente no nó receptor realiza a remontagem do pacote.

#### 2.2.6 Camada de Enlace

A camada de Enlace de dados é responsável por criar, transmitir e receber pacotes de dados. Isto fornece serviços para os vários protocolos na camada de Rede e usa os recursos da camada Física para transmitir ou receber material. A camada de Enlace de dados cria pacotes apropriados para arquitetura de rede que está sendo utilizada. Solicitações e dados da camada de Rede fazem parte de os dados nesses pacotes (ou quadros, como costumam ser chamados nessa camada). Esses pacotes são passados para a camada Física e a partir disso os dados são transmitidos para a camada Física ao hardware de destino. Arquiteturas de rede (como Ethernet, ARCnet, Token Ring e FDDI) abrangem o enlace de dados e as camadas Físicas, sendo a razão pelo qual as arquiteturas suportam serviços no nível do Enlace de dados. Essas arquiteturas também representam os protocolos mais comuns usados no nível do Enlace de dados (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 17).

#### 2.2.7 Camada Física

A camada Física é a camada mais baixa no modelo de referência OSI. Essa camada obtém pacotes de dados da camada de Enlace acima dela e converte o conteúdo desses pacotes em uma série de sinais elétricos que representam valores 0 e 1 em uma transmissão digital. Estes sinais são enviados através de um meio de transmissão para a camada física na extremidade receptora. No destino, a camada física converte os sinais elétricos em uma série de valores de bits. Esses valores são

agrupados em pacotes e passados para a camada de Enlace de dados. A Figura 2 apresenta a superposição das 7 camadas do modelo OSI.

**Figura 2 – Modelo de referência OSI**



Fonte: Adaptado de Reynders e Wright (2003).

### 2.3 TCP/IP

No início dos anos 60, o Departamento de Defesa dos EUA (*U.S. Department of Defense - DoD*) teve a necessidade de um sistema de comunicação de área ampla, cobrindo os Estados Unidos por inteiro e permitindo a interconexão de sistemas heterogêneos de *hardware* e *software*. O protocolo TCP/IP (TCP – *Transmission Control Protocol* e IP – *Internet Protocol*) os permitindo os fabricantes desenvolverem o seu próprio sistema operacional de TCP/IP não incluindo a camada de Rede, porém dependendo dela para acessar o meio. Em 1967, o *Stanford Research Institute* foi contratado para desenvolver o conjunto de protocolos para esta rede, inicialmente conhecida como ARPANET. Outros participantes do projeto incluíram a Universidade de Berkeley (Califórnia) e a empresa privada BBN (Bolt, Barenek e Newman). O trabalho de desenvolvimento começou em 1970 e em 1972 aproximadamente 40 sites foram conectados via TCP/IP. Em 1973, o primeiro internacional conexão foi estabelecida e em 1974, o TCP/IP foi lançado para o público.

Uma das principais razões pelas quais o TCP/IP se tornou o padrão mundial para aplicações industriais e de telecomunicações é o fato de a Internet ter sido projetada baseada nesse protocolo. Outro motivo é a questão de ser um protocolo com arquitetura aberta possibilitando que os fornecedores desenvolvam suas próprias versões de TCP/IP em seu sistema operacional sendo amplamente aplicado na indústria (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 22). Diferentemente do modelo OSI o modelo TCP/IP apresenta a camada de Internet onde tem-se as seguintes características:

- A camada internet sendo como a principal e responsável pelo roteamento de pacotes de um host para outro.
- A ênfase está nos 'pacotes', em oposição aos quadros, pois nesse nível os dados ainda não foram colocados em um quadro para transmissão.
- Cada pacote contém as informações de endereço necessários para o roteamento da Internet e para o host receptor.
- O protocolo dominante nesse nível é o IP (como no TCP/IP) ou seja, protocolo Internet.

Na Figura 3 mostra-se a representação das camadas do modelo de referência TCP/IP.

**Figura 3 – Modelo de referência TCP/IP**



Fonte: Adaptado de Reynders e Wright (2003).



### 3 ETHERNET

Ethernet é a rede local de tecnologia mais popular e utilizada nos ambientes tanto residenciais quanto comerciais. Alguns dos motivos são a rapidez, facilidade de implantação e adaptadores economicamente viáveis sendo que a maioria se não todos os computadores têm uma interface Ethernet incorporada. Sendo que a rede Ethernet consegue entregar a indústria uma tecnologia de rede uniforme, que deriva desde o chão de fábrica ao sistema gerencial do processo produtivo. Dessa forma os dados das áreas de produção e maquinário podem ser visualizados e monitorados por toda a rede da empresa (DECOTIGNIE, 2019).

O conceito de rede Ethernet foi desenvolvido pela Xerox Corporation em seu Centro de Pesquisa em Palo Alto em meados dos anos setenta e apresentado como produto no início da década seguinte (XUEPEI; XIE, 2019). Foi baseado no trabalho realizado por pesquisadores da Universidade do Havaí, onde havia vários *campi* espalhados nas ilhas do estado americano. Sua rede ALOHA foi criada usando transmissões de rádio para conectar os vários laboratórios sendo conhecido coloquialmente como "Ethernet", pois usava o "éter" como o meio de transmissão e criou uma rede 'net' entre os sites. A filosofia era bastante direta qualquer estação que quisesse transmitir para outra o faria isso imediatamente, uma vez que as estações receptoras tinham então uma responsabilidade reconhecer a mensagem. Este sistema primitivo não contava com nenhuma detecção de colisões (duas estações de rádio transmitindo ao mesmo tempo), mas esperou para uma confirmação com tempo predefinido. Em 1980, o Consórcio Ethernet, composto pela Xerox, Digital Equipment Corporation e Intel emitiram uma especificação conjunta baseada nos conceitos de Ethernet e conhecidos como especificação Ethernet Blue Book 1. Sendo posteriormente substituída pela especificação Ethernet Blue Book 2, oferecida ao IEEE como um padrão. Apesar do termo genérico "Ethernet" ser aplicado a todas as redes CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* – Sensor da Portadora com Acesso Múltiplo e Detecção de Colisão), ele deve ser reservado para o padrão DIX original. O IEEE publicou seu primeiro padrão 802.3 em 1985 sendo que há pouca diferença entre Ethernet, o nome dado ao a tecnologia de seu inventor Robert Metcalf, e o padrão IEEE 802.3 que derivado dele e ambos usam o mesmo princípio de controle de acesso médio conhecido como

acesso múltiplo à portadora com detecção de colisão e a especificação Ethernet original foi desenvolvida em torno do CSMA / CD (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 21).

Sendo que a CSMA/CD correm quando tem-se duas situações de transmissão ao mesmo tempo em uma rede local, ambos interrompem a transmissão e sinalizam que uma colisão ocorreu. Cada um tenta novamente depois de esperar por um tempo em um período predeterminado. Isso forma a base das especificações IEEE 802.3. Versões posteriores (de 100 Mbps para cima) também suportam full-duplex, embora suportem CSMA/CD por uma questão de compatibilidade com versões anteriores.

### 3.1 CAMADA FÍSICA PARA REDES ETHERNET INDUSTRIAIS

O padrão 802.3 define uma variedade de tipos de cabos que podem ser usados para uma rede com base neste padrão. Eles incluem os cabos coaxiais, cabos de par trançado e cabos de fibra óptica existindo diferentes padrões de sinalização e velocidades de transmissão que podem ser utilizados (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 50). Incluindo a sinalização de banda base e banda larga e velocidades de 1 Mbps e 10 Mbps. Os documentos padrão IEEE 802.3 (ISO 8802.3) suportam vários tipos de cabos e taxas de transmissão de até 10 Mb/s divididos nos seguintes tipos:

- 10Base2: Cabo coaxial de fio fino (diâmetro de 0,25 pol.), 10 Mbps, barramento de cabo único.
- 10Base5: Cabo coaxial com fio grosso (0,5 polegada de diâmetro), 10 Mbps, barramento de cabo único.
- 10BaseT: Cabo de par trançado não blindado (diâmetro do condutor de 0,4 a 0,6 mm), 10 Mbps, barramento de cabo duplo.
- 10BaseF: Cabos de fibra óptica, 10 Mbps, barramento de fibra dupla.
- 1Base5: Cabos de par trançado não blindados, 1 Mbps, barramento de cabo duplo.
- 10Broad36: Cabo de televisão a cabo (CATV), 10 Mbps, banda larga.

Um grande exemplo do desenvolvimento das redes Ethernet como tecnologia de comunicação e controle é seu meio físico, onde tem-se aplicações específicas a depender do uso e necessidade. Ambientes industriais necessitam de uma maior resistência física classificadas no IP (*Ingress Protection*), em português classe de proteção ou proteções de entrada dos componentes, a medida em que deve ter o maior nível de confiabilidade possível. Ao contrário do ambiente residencial onde o valor elevado devido a especificação técnica dos componentes tornaria inviável a aplicação (PROFINET, 2018). Nas Figuras 4 e 5 em sequência, pode-se verificar os exemplos dos meios físicos de transmissão de acordo com sua aplicação.

**Figura 4 – Conector RJ45 IP20**



Fonte: Autoria própria<sup>1</sup>.

**Figura 5 – Conector RJ45 IP67 para aplicação industrial**



Fonte: Autoria própria<sup>1</sup>.

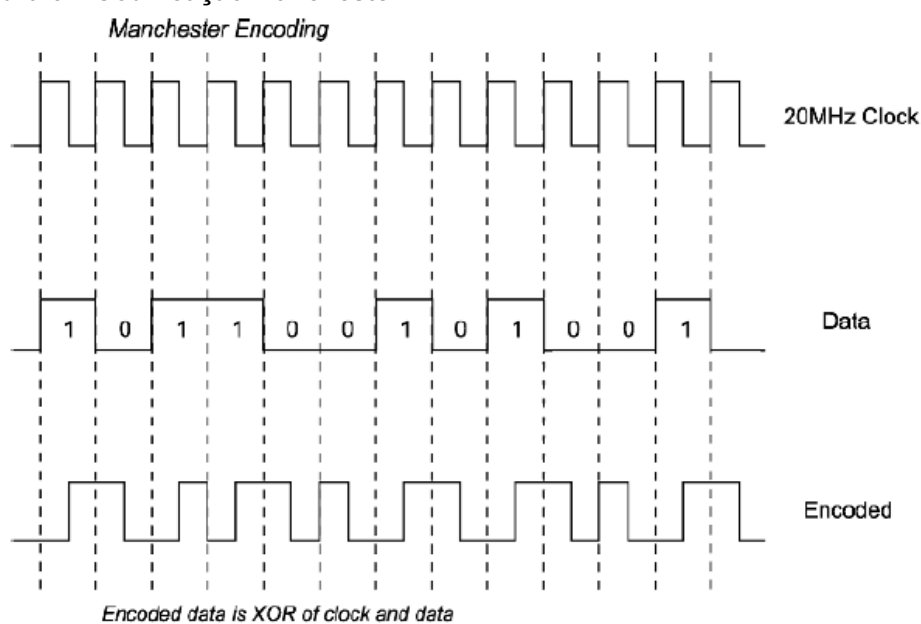
---

<sup>1</sup> Fonte: **Associação Profibus Brasil**. Disponível em: <<http://www.profibus.org.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

### 3.2 MÉTODOS DE CODIFICAÇÃO

Os sinais Ethernet são codificados usando o esquema de codificação Manchester. Este método permite análise do tempo ser extraído no final do receptor e o processo sincronizar a transmissão/recepção. A codificação é realizada por um sinal de tempo entre 20MHz e o fluxo de dados. No sinal resultante o 0 é representado por uma mudança de alta para baixa no centro da célula, enquanto o 1 é representado por uma mudança de baixa a alta no centro da célula. Pode ou não haver transições no início de uma célula, mas estes são ignorados no receptor. As transições em todas as células permitem que o relógio seja extraído e sincronizado com o transmissor. A Figura 6 representa o sinal Manchester utilizado em Ethernet.

**Figura 6 – Codificação Manchester**



Fonte: Adaptado de Reynders e Wright (2003).

As oscilações de tensão variam de -0,225 a -1,825 volts na especificação Ethernet original. No padrão 802.3, as tensões nos cabos coaxiais são especificadas entre 0 e -2,05 volts, com um tempo de subida e descida de 25 ns a 10 Mbps.

### 3.3 TRANSMISSÃO DE DADOS

Quando um dado deve ser transmitido, o controle de acesso médio monitora o barramento e adia a qualquer tráfego de passagem. Após um período de 96 bits,

conhecido como *gap interframe*, para permitir que o dado de passagem seja recebido e processado pelo nó de destino, o processo de transmissão começa. Como existe um tempo finito para essa transmissão propagar para as extremidades do cabo do barramento e assim garantir que todos os nós reconheçam que o meio está ocupado, o transceptor liga um circuito de detecção de colisão e durante esse tempo a transmissão acontece. De fato, uma vez que um certo número de bits (576 bits em um sistema de 10 Mbps) tenha transmitidos desde que as especificações do segmento de cabo de rede tenham sido cumpridas, o circuito de detecção de colisão pode ser desativado. Se ocorrer uma colisão depois disso, será responsabilidade de protocolos mais altos solicitar retransmissão, sendo isso um processo muito mais lento que o processo de detecção de colisão de hardware. O período é conhecido como janela de colisão e efetivamente é o dobro do intervalo de tempo para o primeiro bit de uma transmissão a se propagar para todas as partes da rede. O tempo de slot para a rede é então definida como o atraso de pior caso que um nó deve esperar antes de poder saber com segurança que ocorreu uma colisão.

### 3.4 RECEPÇÃO DE DADOS

Assim que um é reconhecida uma recepção de dados, a NIC ativa um sinal de detecção de portadora para indicar que transmissões não podem ser feitas. Os primeiros bits do frame MAC são um preâmbulo e consiste em 56 bits de 1010. Ao reconhecê-los, o receptor sincroniza seu relógio, e converte o sinal codificado de Manchester novamente em forma binária. O oitavo octeto é um início do delimitador de quadros, e isso é usado para indicar ao receptor que ele deve ser retirado os oito primeiros octetos e começam a determinar se esse quadro é para seu nó lendo o endereço de destino. Se o endereço for reconhecido, os dados serão carregados em um buffer de frame na NIC. O processamento posterior ocorre, incluindo o cálculo e a comparação dos frames CRC, verificando com o CRC transmitido. Verificando se o quadro contém um número inteiro de octetos e é muito curto ou muito longo. Desde que tudo esteja correto, o quadro é passado para a camada LLC e processamento adicional.

### 3.5 FRAME MAC

O formato básico do frame MAC para uma rede 802.3 é dividido da seguinte maneira (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 53):

- Preâmbulo: Consiste em 7 octetos do padrão de dados 10101010. O preâmbulo é usado pelo receptor para sincronizar seu relógio com o transmissor.
- Delimitador do início do Frame: Este campo de octeto único consiste nos dados 10101011. Ele permite que o receptor reconheça o início dos campos de endereço.
- Endereço de fonte e destino: Esses são os endereços físicos dos nós de origem e de destino. Os campos podem ter 2 ou 6 octetos, embora o padrão de seis octetos seja o mais comum. Os seis octetos são divididos em dois blocos de três octetos. Os três primeiros octetos descrevem o número do bloco ao qual todas as placas de rede deste tipo pertencem. Este é o número da licença e de todos os cartões fabricados por esta empresa tendo o mesmo número. O segundo bloco refere-se ao dispositivo identificador e cada cartão terá um endereço exclusivo sob os termos da licença para fabricação. Isso significa que existem 248 endereços exclusivos para placas Ethernet. Existem três modos de endereçamento disponíveis.
- Comprimento: Um campo de dois octetos que contém o comprimento do campo de dados. Isso é necessário, pois não existe delimitador final no frame.
- Informação: As informações que foram transmitidas da subcamada LLC.
- FCS: Um valor de CRC de 32 bits que é calculado no hardware do transmissor e anexado ao frame. É o mesmo algoritmo usado no padrão 802.4 e 802.5.

### 3.6 CAMADA LLC

Essa é a interface entre a camada e os ambientes de rede específicos da camada física. O IEEE dividiu a camada de Enlace de dados no modelo OSI em duas subcamadas a mídia acessa a subcamada MAC e a camada de link lógico (*Logical Link Control*) LLC. O protocolo do controle lógico de link é comum a todos os tipos de rede padrão IEEE 802. Isso fornece uma interface comum para a

camada de rede de protocolos. Sendo que a função da camada LLC (padrão IEEE 802.2) é adicionar, ao dado recebido, informações do protocolo responsável por ter passado essa informação, para que a camada de LLC do receptor consiga entregar a informação ao protocolo de destino, e ler a informação de maneira correta (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 54). Para que seja possível essa camada define pontos de comunicação entre o transmissor e o receptor chamados SAP (*Service Access Point* – Ponto de Acesso a Serviços).

### 3.7 DIFERENÇAS ENTRE PROTOCOLOS IEEE 802.3 E ETHERNET

É importante salientar que tem-se diferenças, apresentadas na Quadro 1, entre as redes 802.3 e a Ethernet.

**Quadro 1 – Diferenças entre protocolos IEEE 802.3 e Ethernet**

<b>Rede 802.3</b>	<b>Rede Ethernet</b>
Topologia tipo estrela onde é utilizado cabo UTP, fibra ótica entre outros	Somente topologia do tipo barramento
Codificação banda base e banda larga	Codificação banda base
Camada de Enlace divididos em LLC e MAC	Sem subdivisão DLL
7 octetos de preâmbulo mais SFD	8 bytes de preâmbulo sem SFD separado
Campo de comprimento na base de dados	Campo usado para indicar o protocolo do nível superior usando o serviço de enlace de dados
SQE pode ser usado como dispositivo de gerenciamento de rede	SQE só pode ser usado na versão 2.0

**Fonte: Adaptado de Reynders e Wright (2003).**

Conforme exemplificado novamente no Quadro 1 tem-se diferenças significativas no que se refere ao campo de comprimento no 802.3 cujo o qual é interpretado como o maior campo de protocolo na Ethernet (REYNDERS; WRIGHT, 2003, p. 55). Como um frame 802.3 não pode ter mais de 1500 bytes, os valores no campo do tipo de protocolo Ethernet V2 começam em 1500, permitindo que os analisadores de protocolo reconheçam o tipo de frame em oposição ao outro.

## 4 PROTOCOLO PROFINET

O protocolo PROFINET (*Process Field Network*) é o padrão de comunicação para automação PROFIBUS & PROFINET *International* (PI) o mesmo possui uma variedade modular de funções o que a torna o PROFINET uma solução flexível para todas as aplicações e mercados. O mesmo se baseia nos protocolos TCP e IP para configuração, troca de dados e diagnóstico de rede, sendo seu principal objetivo a criação de um ambiente de rede industrial integrado, confiável e segura.

A fim de garantir uma produção rápida e confiável de produtos enquanto atende entrega e prazos, a produção deve poder se comunicar e responder com extrema agilidade. O protocolo está em constante desenvolvimento a partir das necessidades e desafios propostos pela indústria. Uma das características principais do protocolo é ser aberto e neutro a qualquer fornecedor para a comunicação determinística e tempo real e integrando-se a transformação digital e o mundo da Indústria 4.0 (SIEMENS, 2018). Sendo que o significado de aberto se refere a neutralidade na possibilidade de escolha do fornecedor conforme preferência para o tipo de configuração e controle, desenvolvimento adicional garantido conforme determinado pela IEEE e uso de ferramentas da web onde é possível acessar de qualquer local em um servidor integrado. Com um tempo de reação muito curto suportando intercâmbio cíclico de mais de 1000 entradas e saídas, com 32 dispositivos de campo em menos de 1 ms por meio de um mecanismo de protocolo provedor / consumidor (IEEE, 2006).

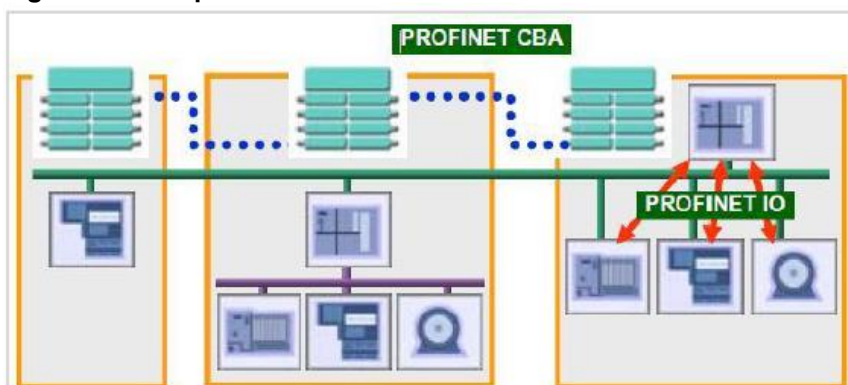
### 4.1 PERSPECTIVAS DO PROFINET

O conceito PROFINET é basicamente dividido em dois tipos de perspectiva onde tem-se o PROFINET CBA e PROFINET I/O. A perspectiva do PROFINET CBA, apresentada na Figura 7, é recomendada para comunicações entre máquinas, baseia-se em componentes, trabalha via TCP/IP e destina-se a comunicação em tempo real, em especial em projetos altamente modularizados. Sendo um projeto de fácil compreensão utilizados em fábricas e linhas de produção baseado no conceito de inteligência distribuída, utilizando supervisórios e sinais gráficos. Os dois tipos de perspectivas podem ser operados separadamente ou de forma combinada, de forma que um dispositivo PROFINET I/O pode ser considerado e utilizado como parte do



PROFINET CBA. O PROFINET IO segue o modelo provedor/consumidor para troca de dados sendo que pode ser configurado para operar como se fosse PROFIBUS (PROFINET, 2018, p. 8).

Figura 7 – Perspectivas de PROFINET



Fonte: Profinet (2018, p. 8).

#### 4.1.1 PROFINET I/O

Uma vez que PROFINET I/O tem como função a conexão de sistemas a entradas e saídas no campo podem ser divididos em três classes:

- Controlador de E/S: normalmente é o Controlador Lógico Programável (CLP) no qual a automação programa é executado. É comparável a um mestre de classe 1 no PROFIBUS. O controlador E/S fornece dados de saída aos dispositivos de entrada e saída configurados em sua função de provedor e é o consumidor de dados de entrada de dispositivos de entrada e saída.
- Dispositivo de E/S: Um dispositivo de E/S é um dispositivo de campo distribuído de entradas e saídas conectado a um ou mais controladores via PROFINET IO. É comparável a função de escravo no PROFIBUS, sendo o dispositivo E/S é o fornecedor de dados de entrada e consumidor de saída dados.
- Supervisor de E/S: Pode ser um dispositivo de programação (*Programming Device* – PD), computador pessoal (*Personal Computer* – PC) ou dispositivo de Interface Homem Máquina (IHM) para comissionamento ou diagnóstico que corresponde a um mestre Classe 2 em PROFIBUS.

Uma unidade de controle deve conter ao menos um controlador de E/S e um ou mais dispositivos de E/S. Os supervisores de E/S são geralmente integrados apenas temporariamente para comissionamento (PROFINET, 2018).

#### 4.1.2 Modelagem de um Dispositivo PROFINET

O modelo de dispositivo é dividido de acordo com suas características técnicas e funcionais. Sendo especificado pelo DAP (*Device Access Point*) e os módulos definidos para uma família particular de dispositivos. DAP é o ponto de acesso para comunicação com a interface Ethernet e o programa em processamento (PROFINET, 2018, p. 10-11). Uma variedade de módulos de I/O pode ser atribuída a ele para gerenciar o processo real de comunicação de dados. As seguintes estruturas são padronizadas para um dispositivo de entradas e saídas:

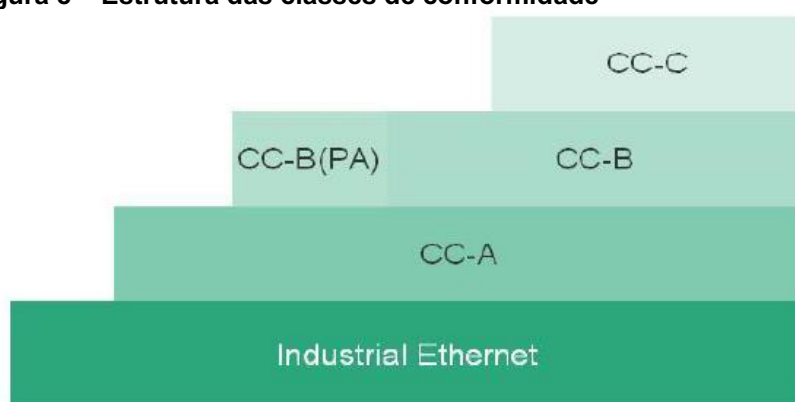
- O *slot* designa o local onde um módulo E/S é inserido em um dispositivo de campo modular. Os módulos configurados contendo um ou mais *subslots* para troca de dados são endereçados com base nos diferentes slots.
- Dentro de um slot, os subslots representam a interface atual para o processo (*inputs/outputs*). A granularidade de um subslot (divisão por bit, por byte, ou por palavra dos dados E/S) é determinada pelo fabricante. O conteúdo de dados de um subslot é sempre acompanhado por informações de estado, de onde se pode derivar a validade dos dados.
- O *index* especifica os dados dentro de um slot/subslot que podem ser lidos ou escritos aciclicamente via serviços de leitura/escrita. Por exemplo, parâmetros podem ser escritos para um módulo ou dados específicos do fabricante podem ser lidos com base em um *index*.

Dados de I/O cíclicos podem ser endereçados especificando a combinação slot/subslot. Estes podem ser definidos livremente pelo fabricante. Para comunicação de dados acíclica via serviços de leitura/escrita, uma aplicação pode especificar o endereçamento dos dados usando slot, subslot e *index*. O PROFINET faz distinção entre dispositivos de campo compactos, nos quais o grau de expansão já está especificado na condição de fornecimento e não pode ser alterado pelo usuário, e dispositivos de campo modulares, nos quais o grau de expansão pode ser personalizado para uma aplicação específica quando o sistema é configurado.

## 4.2 CLASSES DE CONFORMIDADE

O escopo de funções suportadas pelo PROFINET I/O é dividido em classes de conformidade (*Conformance Class – CC*). Essas classes de conformidade proporcionam uma visão geral das propriedades básicas que um dispositivo PROFINET deve suportar. Há três classes de conformidade que complementam as funcionalidades uma das outras e que são utilizadas conforme aplicação. A Figura 8 mostra as classes de conformidades presentes no Ethernet industrial.

**Figura 8 – Estrutura das classes de conformidade**



Fonte: Profinet (2018, p. 8).

A CC-A descreve funções básicas do PROFINET I/O em comunicação RT. Todos os serviços de TI podem ser usados sem restrições. É aplicada, por exemplo, na automação predial. A comunicação sem fio só é possível nessa classe. A CC-B estende os diagnósticos de rede via mecanismos de TI bem como possibilita o levantamento da topologia de rede. A função de redundância do sistema, importante para a automação de processos, está contida em uma versão estendida da CC-B denominada CC-B (PA). A CC-C descreve as funções básicas para dispositivos com sincronização e reserva de largura de banda suportada por hardware (comunicações IRT) e é, portanto, a base para as aplicações isócronas. As classes de conformidade também servem como base para certificação de dispositivos e instruções sobre cabearmentos (PROFINET, 2018, p. 8).

## 4.3 COMUNICAÇÃO

Comunicações no PROFINET contêm diferentes níveis de desempenho divididos em:

- A transmissão de tempo não crítica e parâmetros, a configuração de dados e comutação de informações ocorre no canal padrão baseado em TCP ou UDP (*User Datagram Protocol*) e IP no protocolo PROFINET. Este estabelece a base para a conexão no nível de automação com outras redes (MES e ERP).
- Para a transmissão de informações de com tempo crítico é processado dados dentro da instalação de produção onde existe um canal em tempo real (Real Time – RT) disponível.

Sendo que o padrão PROFINET é dividido em três canais de comunicação, separados por níveis de performance para os diferentes tipos de processos industriais automatizados, que podem ser separados por: Automatização de Processos, Manufaturados e Gerencial (DECOTIGNIE, 2001). Para cada tipo de processo tem-se diferentes tempos de sincronização, que determinam o nível a performance da rede.

#### 4.4 ARQUIVO GSD

Todos os dispositivos de campo devem ser descritos com suas funcionalidades técnicas e funcionais em um arquivo GSD - *General Station Description* (descrição geral da estação) fornecido pelo fabricante do dispositivo de campo. Isso é baseado em arquivo XML e escrito na linguagem GSDML - *General Station Description Markup Language* (Descrição geral da estação Linguagem de marcação). Isso inclui todos dados necessários pelo controlador de E/S para engenharia e troca de dados (SIEMENS, 2018). Por exemplo:

- Descrição da entrada individual e montagens de saída.
- Opções para uso de módulos de E/S em slots.
- Parâmetros necessários para a operação correta dos dispositivos de campo.
- Diagnósticos que podem ser produzidos por um dispositivo de campo e seus respectivos significados.
- Descrição de vários dispositivos de uma família em um único arquivo.

O conteúdo do arquivo GSD segue o padrão internacional da ISO 15745. Um arquivo GSD para PROFINET IO pode descrever uma família inteira de dispositivo (várias interfaces de barramento e módulos periféricos). Para cada barramento de

interface (ponto de acesso do dispositivo, *Device Access Point* - DAP) disponível com a família de dispositivos o fabricante pode definir uma série de módulos periféricos. O arquivo GSD é multilíngue. Para identificação simples de um dispositivo de campo, o PROFINET IO define uma identificação do dispositivo (PROFINET, 2014, p.19).

#### 4.5 TOPOLOGIA DE REDE PROFINET

As topologias de rede são orientadas para os requisitos das instalações a serem conectadas na rede. As topologias mais comuns são: estrela, linha, estruturas em árvores e anéis. Podendo ser implementado e usado na rede PROFINET com cobre fiação ou com fibra ótica (PROFINET, 2018).

#### 4.6 CABEAMENTO EM PROFINET

Os padrões de cabos da indústria podem ser submetidos e especificados de acordo com o esforço mecânico muitas vezes alto em ambientes industriais, exigindo uma construção especial. Por norma são definidos diferentes tipos de cabos a serem adaptados a uma variedade de particularidades dependendo do tipo de indústria a ser instalado. No nível de campo, existe o requisito para o cabeamento sendo similar ao do PROFIBUS. Como alguns nós tem alimentação de elétrica de 24V além da conexão de dados, um híbrido estrutura de fiação funciona bem para o PROFINET (PROFINET, 2018). É usual a utilização de cabos híbridos cujo os quais incluem linhas e não apenas para transmissão de sinal, mas para transmissão de energia também. As fibras ópticas não são sensíveis a influências eletromagnéticas e pode permitir extensões de rede mais longas do que fiação de par trançado de cobre.

O comprimento máximo do segmento para dados elétricos transmissão com cabos de cobre entre dois nós (dispositivos ou comutadores de campo) é de 100 m. Os cabos de cobre são projetados uniformemente no tipo AWG 22 (PROFINET, 2014, p.17). O Guia de instalação define tipos diferentes de cabos que foram perfeitamente adaptados às respectivas condições de ambiente industrial e permitem uma instalação industrial sem limitação na distância de transmissão.

## 5 CONCLUSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (TCCE) decorreu-se com o intuito de apresentar a Rede Ethernet Industrial como uma solução que vem sendo popularmente aplicada no ambiente industrial e que tem por objetivo atender os requisitos em tempo real e determinismo cada vez mais necessários dentro de um processo produtivo e gerencial. Com uma série de vantagens como custo baixo de implantação, rede e topologia flexíveis, comunicação relativamente simples, alta velocidade e confiabilidade, com desenvolvimento tecnológico constante e suportado pelos principais fabricantes de CLP e SDCD do setor industrial. Sendo realizado através de um estudo teórico onde foram apresentados as particularidades e características da rede fundamentando-se teoricamente sobre as redes de comunicação.

Apresentou-se também princípios e funcionalidades como topologia, comunicação e meio físico do padrão de protocolo de comunicação PROFINET. Cujo qual observou-se ter algumas diferenças de topologia e arquitetura por exemplo, porém de fácil aplicação por ser um protocolo aberto e em amplo desenvolvimento. O protocolo PROFINET como sendo um grande exemplo do desenvolvimento da rede Ethernet no ambiente industrial e suas vantagens no chão de fábrica e também da Indústria 4.0, suportando de forma abrangente e aberta o padrão de comunicação Ethernet.

## REFERÊNCIAS

DECOTIGNIE, Jean-Dominique. **A perspective on ethernet-TCP/IP as a fieldbus**. IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Applications. França, 2001. p. 138-143.

DECOTIGNIE, Jean-Dominique. **The many faces of industrial ethernet**. In: IEEE Industrial Electronics Magazine, v. 1, n. 1, mar. 2019. p. 8-19. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4808740>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

IEEE. Standards for Local Area Networks: **Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect on (CSMA/CD) access method and physical layer specifications**. Copyright© 2006 the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Inc. Publicado em: 16 out. 2006. Disponível em: <[http://www.ieee802.org/3/av/public/2008\\_04/3av\\_0804\\_remein\\_2.pdf](http://www.ieee802.org/3/av/public/2008_04/3av_0804_remein_2.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2019.

PROFINET. **PROFINET – Descrição do sistema: Tecnologia e aplicação**. Publicada pela Associação PROFIBUS Brasil. São Paulo: 11 nov. 2018. Disponível em: <[http://www.profibus.org.br/files/descricao\\_tecnica\\_profinet.pdf](http://www.profibus.org.br/files/descricao_tecnica_profinet.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2019.

REYNDERS, Deon; WRIGHT, Reynders. **Practical TCP/IP and Ethernet networking for industry**. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2003.

SIEMENS. **PROFINET for future-proof device development**: Industrial communication that optimizes flexibility, efficiency, and performance. Copyright© Siemens 1996-2019, 2018. Disponível em: <<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/Profinet.html>>. Acesso em: 04 dez. 2019.

XUEPEI, Wu; XIE, Lihua. **Performance evaluation of industrial Ethernet protocols for networked control application**. Control Engineering Practice, v. 84, p. 208-217, mar. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066118303691>>. Acesso em: 20 nov. 2019.