



**Integração dos protocolos
Modbus TCP e MMS (IEC 61850)
para acionamentos de motores de
média tensão em uma mineradora**

Introdução

Com o avanço da tecnologia, o ambiente industrial moderno encontra-se cada vez mais integrado e acessível. Para a integração de sistemas e processos industriais, são exigidos que os controladores estabeleçam a comunicação entre si de forma segura, eficiente e confiável. Para alcançar esses requisitos, a correta escolha do protocolo de comunicação é muito importante. Encontram-se no mercado diversos tipos de protocolos de comunicação industrial. Isso se deve ao fato de os fabricantes desenvolverem protocolos proprietários para seus dispositivos. Entre os principais protocolos existentes e aplicados na indústria, baseados em Ethernet, estão o Modbus TCP, o Ethernet/IP e o Profinet. Cada um destes possui seu próprio padrão para realizar a troca de dados entre os seus dispositivos. Esta diferença entre os protocolos traz como consequência a dificuldade de integração dos componentes em um ambiente industrial, o que faz necessário o uso de conversores (gateways) para estabelecer a comunicação.

Automação industrial e automação de subestações

NORMA IEC 61850

A norma IEC 61850 - Communication Networks and Systems in Substations estabelece meios para garantir a interoperabilidade entre os dispositivos, permitindo a comunicação entre IEDs de diferentes fabricantes sem a necessidade de conversores (gateways). A IEC 61850 é composta por três protocolos de comunicação que são o MMS (Manufacturing Message Specification), o GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) e o SV (Sampled Values). A utilização da norma é consolidada em diversas aplicações industriais e seguimentos do setor de energia, tais como a automação de subestações e redes inteligentes (smart grid) [1].

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação industrial, por conceito, é subdividida em cinco níveis que constituem a pirâmide da automação. Esta pirâmide estabelece os atributos e a hierarquia de cada nível de atuação no setor da automação. Cada um destes níveis possui seus próprios padrões de comunicação, denominados como protocolos de comunicação. Os níveis corporativos utilizam protocolos de comunicação baseados em Ethernet enquanto os níveis de processo utilizam protocolos de comunicação baseados em redes de campo (Fieldbus) [2]. Os níveis de processo (1 e 2)

utilizam protocolos que promovem uma comunicação cíclica e de velocidade determinada, já os níveis corporativos (3, 4 e 5) utilizam protocolos que permitem uma alta taxa de transferência de informações, mas possui uma alta latência em relação ao tempo de resposta [3]. O PLC, cérebro do sistema de automação industrial, utiliza estes dois tipos de protocolos de comunicação. Um para estabelecer a comunicação com os instrumentos de campo, nível 1, e outro para estabelecer a comunicação com o sistema supervisão, nível 3.

AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES

Na automação do sistema elétrico, os dispositivos que compõem um SAS (Sistema de Automação de Subestações) estruturam-se em três diferentes níveis, cada um com sua função, sendo classificados em nível de processo, nível de bay e nível de estação, sendo o IED o principal dispositivo deste sistema. Em sistemas de subestação, dois tipos de comunicação são utilizados para que haja a troca de informações entre os diferentes níveis do sistema ou entre os diferentes dispositivos do sistema em um mesmo nível. Estas comunicações são denominadas comunicação vertical (protocolo MMS) e comunicação horizontal (protocolo GOOSE), respectivamente [4]. As comunicações verticais utilizam o modo cliente-servidor e geralmente não tem restrições críticas de tempo, pois são utilizadas para configuração de IEDs, informações, comandos e medições de processo. A comunicação horizontal utiliza o modo publicador-assinante, em que um determinado dispositivo disponibiliza as informações na rede e um dispositivo consumidor trata as mensagens que lhe forem necessárias. Esta comunicação deve suportar serviços de tempo crítico, pois nela trafegam as funções de proteção e intertravamento do sistema [5].

SSC E SAS

A Figura 1 ilustra o SSC (Sistema de Supervisão e Controle) à esquerda; e o SAS à direita superior. Em (1) tem-se as estações de trabalho do sistema supervisão do SSC; em (2) o PLC redundante instalado no datacenter (R); em (3) são apresentados os equipamentos de campo presentes no eletrocentro (subestação) tais como: remota de campo, conversores de protocolos, switches, disjuntores, relés de proteção no acionamento de 4.16kV e IEDs no sistema elétrico; já em (4) é possível encontrar estações de trabalho do sistema supervisão de elétrica SAS; por fim, em (5) tem-se o PLC principal instalado no datacenter (P) e os servidores de conectividade responsáveis por captar dados dos IEDs.

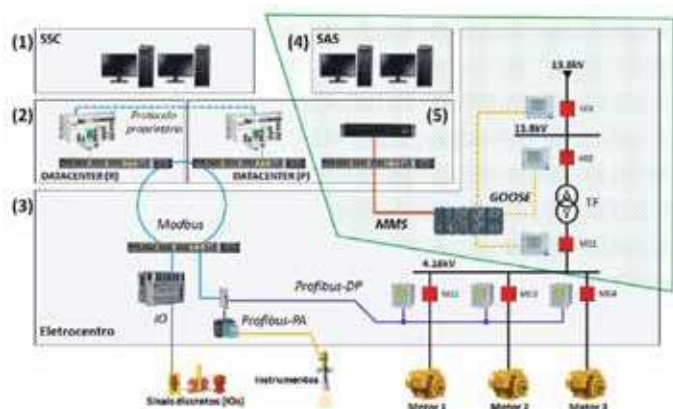


Figura 1 - Níveis de um sistema de automação de subestação.

APLICAÇÃO DOS RELÉS DE PROTEÇÃO (IEDs) NO SSC E NO SAS

Os IEDs são utilizados no SAS e no SSC com a função primária de proteger um determinado equipamento e com funções secundárias que permitem o controle remoto e o intertravamento com o processo. Porém, existem particularidades de cada um destes sistemas em relação ao uso dos IEDs. No SAS, os IEDs ocupam o segundo nível do sistema, conforme mostra a Figura 2 (esquerda). Neste nível, os IEDs realizam as funções de proteção, intertravamento e a comunicação com o nível 3 que utiliza protocolos que não possuem restrição crítica de tempo, pois nesta comunicação trafegam apenas informações de supervisão e controle a distância. No SSC, os IEDs ocupam o primeiro nível da pirâmide, conforme mostra a Figura 2 (direita). Neste sistema, os IEDs são controlados diretamente pelo PLC, que está no segundo nível da pirâmide. É o PLC que realiza os intertravamentos do processo além de controlar os IEDs mediante à lógica desenvolvida. Portanto, os protocolos utilizados para esta comunicação entre PLC e IED, no SSC, devem garantir o determinismo e a comunicação em tempo real [6].

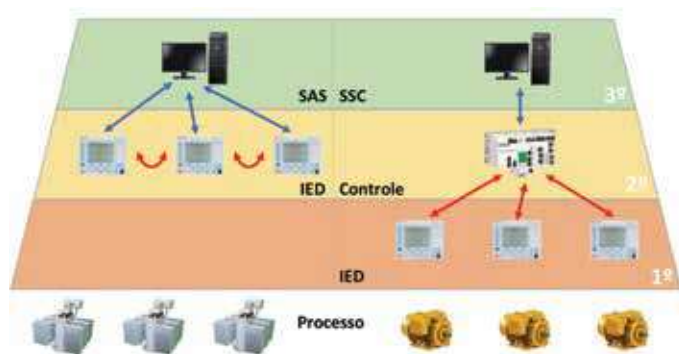


Figura 2 - IEDs no SAS e no sistema de automação industrial.

PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Os protocolos de comunicação são padrões estabelecidos para a troca de dados. São códigos criados para que os dispositivos conectados à rede possam se comunicar. Atualmente, existem vários protocolos que podem oferecer uma diversidade de serviços em comunicação de equipamentos. Dentre estes protocolos, os

mais utilizados na indústria, baseados no padrão ethernet, são: Modbus TCP, Profinet e Ethernet IP.

O protocolo Modbus foi desenvolvido pela Modicon em 1979. Os protocolos Modbus mais comumente utilizados são o Modbus RTU, o Modbus ASCII e o Modbus/TCP, sendo, os dois primeiros, protocolos do tipo ponto a ponto e ambos utilizam a comunicação serial (Mestre/Escravo). Já o protocolo Modbus/TCP é uma junção do protocolo Modbus serial e do protocolo TCP/IP. O resultado desta junção é um protocolo aberto, estruturado e de simples transmissão que pode ser usado em redes do tipo cliente/servidor. O protocolo Modbus/TCP possui uma velocidade de comunicação relativamente baixa para operações em tempo real, em torno de 100ms e, para suportar este tipo de operação, é oferecida a extensão Real-Time-Publisher-Subscriber (RTPS) que reduz a velocidade de comunicação para até 10ms [7].

O protocolo Profinet (Process Field Network) é um protocolo contemporâneo para redes industriais. Existem basicamente dois tipos de redes Profinet: Profinet IO e Profinet CBA [8]. O Profinet CBA é baseado na arquitetura TCP/IP e é chamado de Non-real time (NRT) devido ao tempo de processamento ser próximo de 100ms [9]. Por outro lado, o Profinet IO é caracterizado por ter aplicação com tempos menores que 1ms e é chamado de Isochronous Real Time (IRT). Esta redução no tempo de ciclo deve-se à eliminação de vários níveis do protocolo, o que resulta em uma diminuição do comprimento das mensagens transmitidas. Existe ainda um terceiro segmento em que pode ser utilizado tanto o CBA quanto o IO, chamado de Soft Real Time (SRT). Neste segmento também há a eliminação de vários níveis de protocolo, porém os tempos de varreduras são em torno de 10ms. Baseado no protocolo Profibus DP, o Profinet IO opera diretamente com os dispositivos de campo, realizando leituras dos sensores, atualizando os sinais de saída e controle de diagnósticos da rede.

O protocolo Ethernet/IP (IP, Protocolo Industrial) é uma rede desenvolvida pela Rockwell Automation em 2001 e apoiado pela ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) [10]. A Ethernet/IP incorpora o conjunto TPC/IP, utilizando o TCP para mensagens explícitas e o UDP para mensagens implícitas ou I/O. As mensagens explícitas são utilizadas para programação, configuração, diagnósticos de dispositivos e para troca de dados em que o tempo não é crítico. Apresentam normalmente um tráfego de baixa taxa que tem um impacto insignificante no desempenho da rede. As mensagens implícitas são utilizadas para troca de dados onde o tempo é crítico. Estas mensagens contêm dados de entrada / saída (I/O) e dados, a serem utilizados por um controlador, com informações de estados de dispositivos remotos [11].

DIFERENÇA ENTRE OS PROTOCOLOS

A Tabela 1 apresenta uma breve comparação entre os três protocolos mais consolidados para a automação de processos industriais e o protocolo MMS da IEC 61850. São apresentadas

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE PROTOCOLOS

Protocolo	Evolução de outras redes	Método	Determinismo	Aplicação
Profinet	Profibus	Profinet – IO (RT)	1 – 10ms	Cíclica, supervisão, controle de movimento e conexão entre redes diversas
Ethernet/IP	DeviceNet	UDP/IP com aplicação CIP e utilização do CIP Sync para sincronismo em tempo real	<10ms	Cíclica, supervisão e conexão entre redes diversas
Modbus/TCP	Modbus/RTU	RSTP – UDP/IP	>10ms	Cíclica e supervisão
IEC 61850 - MMS	-	TCP/IP	>100ms	Cíclica e supervisão

as diferenças entre as formas de se obter o determinismo de cada protocolo em um sistema de controle. Nota-se que os protocolos Profinet e Ethernet/IP, por serem uma evolução de outros protocolos já consolidados em sistemas de controle, têm como característica base o controle de processos industriais com tempo de resposta abaixo de 10ms. Destaca-se ainda o protocolo Profinet por ter a extensão conceituada em IRT, que possui um tempo de resposta menor que 1ms. Já o protocolo Modbus/TCP, mesmo com a extensão RTPS, não é muito utilizado em processos industriais, pois, nesta configuração, utilizando o UDP/IP, torna-se difícil a definição de um tempo de entrega de mensagem durante a comunicação. Por sua vez, o protocolo MMS da IEC 61850 foi desenvolvido para sistemas de supervisão e por isso sua aplicação é mais adequada em sistemas de controle onde se requer tempos de resposta em, no mínimo, 100ms.

Acionamento dos motores de média tensão em ethernet via protocolo MMS (IEC 61850) – Estudo de caso

A planta de beneficiamento de minério de ferro, localizada na cidade de Itabira – MG, passou por grandes projetos de expansão onde foi incorporado o processo de cominuição do material através de moinhos de bolas, tornando possível o beneficiamento de um tipo de minério com baixo teor de ferro. Essa expansão trouxe diversas novas tecnologias em automação e elétrica. Além dos IEDs aplicados ao SAS, o projeto foi contemplado com um parque de aproximadamente 171 IEDs inseridos nos acionamentos de média tensão, tais como: britadores, correias transportadoras, bombas de polpa e moinhos de bolas. Os painéis com os IEDs vieram de outra unidade da empresa e, em seu projeto inicial, foram especificados para comunicarem com os protocolos da IEC 61850. Neste cenário de "nova aplicação" do equipamento, surgiu o impasse, uma vez que estes ativos iriam pertencer ao sistema de processo e, "comunicando em 61850", não atenderiam às premissas do SSC que possui como padrão para acionamento o protocolo Profibus-DP.

Devido ao estágio avançado do projeto e ao custo envolvido, a troca dos ativos em "61850" por ativos em Profibus se mostrou inviável. Para solucionar o problema, uma equipe multidisciplinar foi formada, tendo como base os responsáveis pelo projeto, a empresa de integração e o fabricante do IED, de modo a propor soluções que possibilitassem a integração segura e confiável dos IEDs ao SSC.

INTEGRAÇÃO DO IED E PLC

A planta utiliza um PLC que possui o protocolo de comunicação Modbus Serial. Para estabelecer a comunicação com as remotas de entrada e saída (I/O) de campo, utiliza-se o modo RTU através dos cartões mestre e escravo. Para que fosse possível realizar a comunicação com os dispositivos das outras camadas da pirâmide, que utilizam os protocolos em Ethernet, utiliza-se um cartão para converter o protocolo Modbus Serial para Modbus/TCP. Assim, tornou-se possível estabelecer a comunicação do PLC com os dispositivos da camada de supervisão e de acionamento, como os IEDs.

A arquitetura mostrada na Figura 3 apresenta, de forma resumida, os componentes presentes na junção do IED presente no SAS com o PLC presente no SSC. O switch (1) é o responsável por interligar os equipamentos e gerenciar as redes de comunicação;

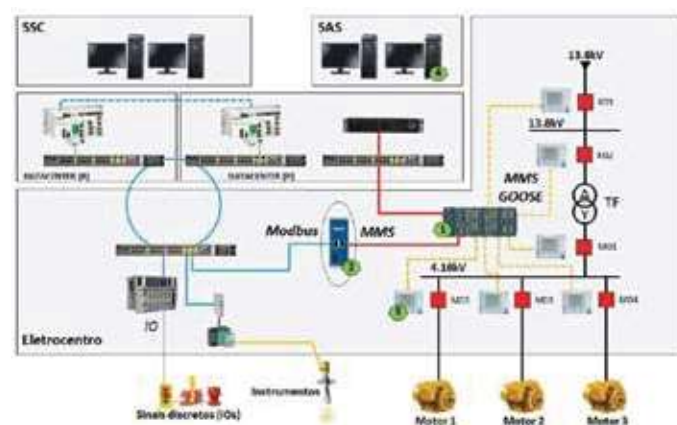


Figura 3 - Modelo de arquitetura de integração.

o gateway (2) realiza a conversão entre os protocolos Modbus TCP e o MMS; os IEDs (3) controlam e protegem os acionamentos de média tensão; e, por fim, o terminal de engenharia (4) é utilizado para configurar os PLCs, Switches e os IEDs.

Durante o processo de estudo, definição e integração, várias etapas foram consolidadas, sendo as principais citadas a seguir: definição da quantidade de IEDs por gateway; definição do típico (modelo) a ser usado para a integração do IED; programação da lógica de controle e comunicação do IED; configuração do gateway; configuração do cartão de comunicação do PLC; configuração das variáveis do PLC; programação do bloco de integração no PLC; e monitoramento.

Concluída a verificação da integridade das informações, foi analisado o tempo de comunicação entre o PLC e o IED. Estas variáveis tornam-se importantes, pois retratam o valor gasto para atualizar as informações dos comandos do PLC no IED. A Figura 4 mostra o valor do tempo de comunicação entre o PLC e o IED proveniente da lógica de Watchdog. Este valor é atualizado a cada comunicação concluída e gravada no historiador da planta.

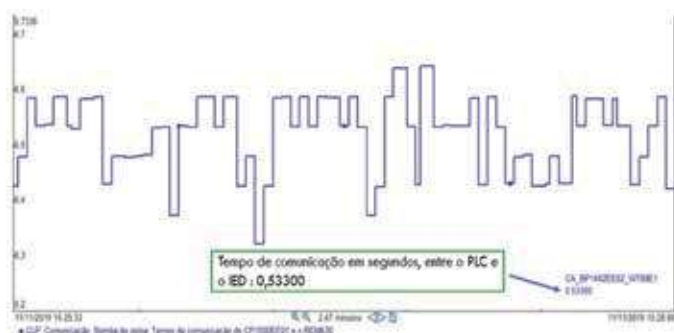


Figura 4 - Tempo de comunicação entre o PLC e o IED.

Durante o monitoramento, foi possível verificar que todas as informações estavam íntegras, tanto no PLC quanto no IED, e os tempos de comunicação estavam compreendidos entre 0,3s e 0,8s. Estes tempos, para a realização de acionamento e intertravamento, tornam-se aceitáveis por se tratar de uma planta de mineração, onde os equipamentos a serem acionados possuem características de inércia elevada. Soma-se à observação anterior, o fato de a função de proteção ser realizada especificamente pelo IED, com tempos de processamento da ordem de milissegundos.

Conclusões

O trabalho apresentou uma aplicação real que descreveu os sistemas de automação industrial e de automação de subestação de uma mineradora. No sistema de automação industrial utilizou-se um PLC com o protocolo Modbus/TCP para comunicar com os dispositivos da camada de supervisão e de acionamento. No setor elétrico, foi utilizado o protocolo MMS, da IEC 61850, para

estabelecer a comunicação do IED com os dispositivos da camada de supervisão e controle. O protocolo GOOSE foi utilizado para estabelecer a comunicação com os outros IEDs a fim de realizar as proteções e intertravamentos.

A utilização da IEC 61850, no setor industrial (processo), permitiu que todos os benefícios encontrados no setor elétrico – tais como a utilização do protocolo GOOSE para seletividade lógica, a utilização do protocolo MMS que permite acesso a distância, coleta de oscilografias, geração de relatórios, monitoramento e outros – estivessem disponíveis para os equipamentos de acionamento.

Como próximos passos, torna-se importante a retirada do gateway de comunicação, utilizado para a integração dos protocolos MMS e Modbus/TCP, de forma a eliminar pontos de manutenção e defeito no sistema além de eliminar o tempo na conversão dos protocolos, reduzindo assim o tempo de comunicação entre os PLCs e os IEDs. Por fim, esse trabalho de substituição do gateway pelo cartão nativo IEC 61850 do PLC está em andamento e, ainda este ano, deve ser concretizado nas primeiras subestações.

Referências bibliográficas

- [1] IGARASHI, Gilberto. Contribuições para a implementação de um barramento de processo segundo a norma IEC 61850-9. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.
- [2] MARTINS, Marcos Roberto Alves. Análise de convergência para arquiteturas para automação industrial: Abordagem de integração TA e TI. 2015.
- [3] ROA, Michael et al. Requirements for deterministic control systems. In: 2011 IEEE Electric Ship Technologies Symposium. IEEE, 2011. p. 439-445.
- [4] VICENTE, Décio Tomasulo de. Aplicação dos padrões da norma IEC 61850 a subestações compartilhadas de transmissão/distribuição de energia elétrica. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [5] DE OLIVEIRA SOUTO, Allan et al. TESTES DE DESEMPENHO E INTEROPERABILIDADE UTILIZANDO A NORMA IEC 61850. 2009.
- [6] GOEKING, Weruska. Da máquina a vapor aos softwares de automação. Publicação online—O Setor Elétrico/Memória da Eletricidade. [Acessado em 20/08/2010]. URL: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/automacao.html>, 2010.
- [7] ARISTOVA, Natalia I. Ethernet in industrial automation: Overcoming obstacles. Automation and Remote Control, v. 77, n. 5, p. 881-894, 2016.
- [8] TURCATO, Afonso Celso et al. Ataque denial of service em redes Profinet: estudo de caso. Anais, 2015.
- [9] LUGLI, Alexandre Baratella. Uma Ferramenta Computacional Para Análise De Topologia E Tráfego Para Redes Ethernet Industriais. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2007.
- [10] ROBERT, Jérémy et al. Minimum cycle time analysis of Ethernet-based real-time protocols. International Journal of Computers, Communications and Control, v. 7, n. 4, p. 743-757, 2012.
- [11] ODVA Profile File, Network Infrastructure for Ethernet/IP: Introduction and Considerations. ODVA Publication, 2007, 118p.

*Paulo Henrique Vieira Soares é engenheiro eletricista pelo UNILESTE-MG (2014) e Mestre em Engenharia Elétrica pela UNIFEI (2020). Atualmente é coordenador de Automação na Vale S.A;

Daniel Luiz de Souza é engenheiro eletricista pela faculdade DOCTUM-JM, aluno da pós em Automação industrial pela PUC-MG. Engenheiro de Automação na Vale S.A;

Carlos Henrique Araújo Santos é engenheiro eletricista pela faculdade DOCTUM-JM, aluno do curso de MBA executivo em gerenciamentos de projetos pela faculdade Prominas (2021). Técnico em eletroeletrônica na Vale S.A.