

## Proposta de Modelagem do Sistema de Regulação de Velocidade na Hidrogeração Segundo a Norma IEC 61850, Funcionalidades do Sistema e Automatismos

**A. MIBIELLI**

**Itaipu Binacional**

**Brasil**

**M. F. MENDES**

**Itaipu Binacional**

**Brasil**

**Resumo** – Os sistemas de regulação de velocidade atuais são digitais e podem processar diversas informações da regulação, do controle e da automação da unidade geradora, permitindo também que as mesmas sejam enviadas por rede de comunicação de dados a outros equipamentos. A definição de um padrão para troca de informações e interface do sistema de regulação com outros equipamentos e sistemas é a motivação para este trabalho. O padrão escolhido foi a norma internacional IEC 61850. Atualmente pouco se conhece sobre modelagem de sistemas de regulação de velocidade em usinas hidrelétrica utilizando essa norma. Essa modelagem é uma necessidade para a atualização tecnológica de usinas hidrelétricas, que visam manter a qualidade da geração de energia e para novos projetos. Este trabalho apresenta uma proposta de arquitetura, descrevendo os nós lógicos e serviços de comunicação necessários, para os sistemas de regulação de velocidade modernos usando a norma IEC 61850.

**Palavras chave:** Reguladores de velocidade, IEC 61850, Modelagem, Usina Hidroelétrica.

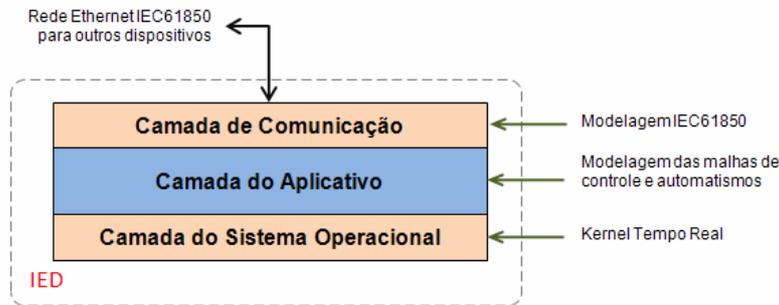
### 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de regulação de velocidade evoluíram de sistemas mecânicos e eletrônicos para sistemas digitais de regulação. Um ponto fundamental que possibilitou a evolução dos sistemas de regulação de velocidade foi a evolução da tecnologia digital (Mibielli, 2007). A utilização de hardware mais robusto, com processadores e memórias de grande capacidade foram pontos determinantes no processo de evolução, possibilitando agregar as funcionalidades de supervisão, monitoração, lógicas inerentes do processo e seus respectivos automatismos ao Sistema Digital de Regulação de Velocidade. Os atuais sistemas digitais de regulação de velocidade comercializados reúnem em um mesmo equipamento as funções de controle, monitoração, supervisão de variáveis, lógicas e automatismos. São funcionalidades do Sistema Digital de Regulação com comando, controle e supervisão do sistema de adução de água (caso de válvula borboleta ou comporta), conduto forçado, malhas de controle e regulação de velocidade da turbina, supervisão da turbina, proteções da turbina, seqüenciamento de partida-parada, medições de níveis montante/jusante, sistema hidráulico e supervisão e comando dos demais periféricos. Muito se evolui com a tecnologia digital na regulação de velocidade, a agregação das funções acima descritas ao Sistema de Regulação varia conforme a aplicação em cada usina hidroelétrica, bem como as características da turbina, tomada d'água e outras características.

## 2 IED - INTELLIGENT ELECTRONIC DEVICE

Os IEDs mais atuais são projetados para suportar a norma IEC 61850 para aplicação em usinas e subestações, a qual fornece interoperabilidade e recursos avançados de comunicações. A plataforma de hardware do IED deve atender a severos requisitos para a geração de energia.

A programação dos IEDs pode ocorrer em níveis distintos e seguindo normas como a IEC 61131, para programação por diagramas de blocos, e a IEC 61850, para a comunicação e interfaces entre os IEDs.

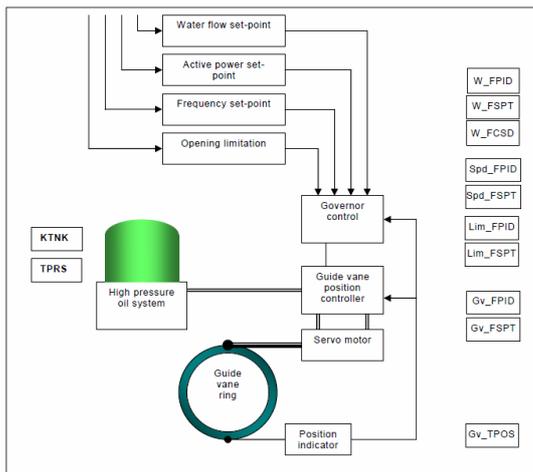


**Figura 1 - Camadas de Software no IED**

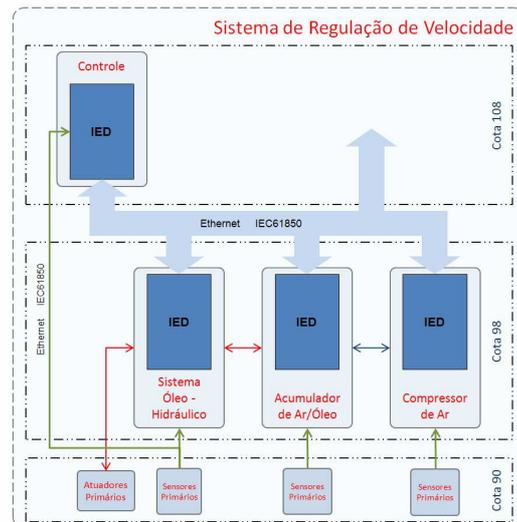
Observe na Figura 1 que a norma IEC 61850 define a interface de comunicação (camada de comunicação). Já a norma IEC 61131 define a programação dos algoritmos de proteção, controle, regulação e automação na camada de aplicativo.

## 3 A NORMA IEC 61850

Uma transformação tecnológica nas plantas elétricas ocorreu nas últimas três décadas. Contudo, percebia-se uma carência na padronização na implementação dos projetos para as plantas elétricas. A norma IEC 61850 foi criada para atender essa necessidade. Ela define grupos de Nós Lógicos (NLs). Em geral, os IEDs implementam somente parte destes NLs em seu firmware, limitando a utilização de uma forma mais ampla. A evolução dos Grupos de NLs (Logical Node Groups) ocorre de acordo com cada versão ampliada da norma. A Figura 2 apresenta uma adaptação do modelo apresentado na parte IEC 61850-7-410 [1] da norma para uma turbina do tipo Francis.



**Figura 2 - Adaptação do Modelo do Regulador de Velocidade para Turbina Francis**



**Figura 3 - Sistema de Regulação Baseado em IEDs – Exemplo de Disposição Física**

#### 4 SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE SEGUNDO A IEC 61850

Propor um modelo para o sistema de regulação de velocidade baseado na norma IEC 61850 (IEC 61850-7-410 Versão 1) é um grande desafio. Entretanto, com a evolução da norma com os novos NLs apresentados no COMMITTEE DRAFT (CD) (57/1038/CD, 2009), é possível a modelagem mais completa do sistema de regulação de velocidade e de seus periféricos. Os atuais sistemas digitais de regulação são sistemas microprocessados que permitem uma programabilidade, logo esses sistemas são em sua essência IEDs. Para serem Dispositivos Lógicos (Logical Devices), tal qual definido na IEC 61850, ainda precisam ter em seu firmware a norma implementada em sua camada de comunicação.

Um ponto importante definido na norma IEC 61850 é a livre alocação de funções, isto é, uma função pode estar alocada em qualquer IED e a ação de controle, lógica ou comando ocorre pela integração da rede. Usando o recurso da livre alocação podem-se definir lógicas complexas de controle que em caso de falha de um dos IEDs, os demais atuam como um backup. Para implementar um sistema de regulação de velocidade baseado em IEDs segundo a norma IEC 61850, o equipamento deve ter os NLs dos grupos apresentados na tabela abaixo principalmente aqueles apresentados na norma IEC 61850-7-410 [1] e no DRAFT [2].

A Figura 3 apresenta um conceito de sistema de regulação baseado em IEDs com o interfaceamento entre os IEDs definidos pela IEC 61850. Nesse modelo pode-se observar que os sensores e atuadores são conectados diretamente aos IEDs. Assim, distribuindo os IEDs nas diversas cotas da usina, temos o sistema de regulação de velocidade baseado em IEDs e a interface entre os mesmos através da rede Ethernet com IEC 61850. Neste modelo o Sistema Óleo-Hidráulico que compreende a Unidade Hidráulica e o Acumulador Ar-Óleo, tem dois IEDs distintos, essa definição foi meramente por conveniência de distribuição física, uma vez que pode ser usada a livre alocação de funções, neste caso as funções do IED da unidade hidráulica podem cobrir as funções do IED do acumulador de Ar-Óleo e vice e versa.

A modelagem das funções do sistema de regulação de velocidade baseado em IEDs é apresentada nas tabelas abaixo, com os NLs propostos de acordo com [1], [2] e [3]. Note que, um ou mais NLs podem representar uma determinada função do sistema de regulação de velocidade.

NLs proposto para o IED de Controle					
Função/Serviço	Descrição da Função, Ação, Comando ou Controle	E/S	Tipo de Sinal	Nós Lógicos	
Controle de Potência	Malha de Controle			FPID, HGOV	
Comandos	Modo Local/Remoto	E	Discreto	GGIO	
Referência de Potência	Controle da Referência				
	Aumentar/Diminuir	E	Pulso	FRMP	
	Valor Máximo/Mínimo	E	Variável	FSPT	
	Taxa/Largura do Pulso	E	Variável		
	<i>Setpoint</i>	E	Contínuo		
Controle de Velocidade	Malha de Controle			FPID, HGOV	
Referência de Velocidade	Controle da Referência				
	Aumentar/Diminuir	E	Pulso	FRMP	
	Valor Máximo/Mínimo	E	Variável	FSPT	
	Taxa/Largura do Pulso	E	Variável		
	<i>Setpoint</i>	E	Contínuo		
Limitador de Abertura	Malha de Controle			FLIM	
Referência do Limitador	Controle da Referência			FRMP	
	Aumentar/Diminuir	E	Pulso	FSPT	
	Valor Máximo/Mínimo	E	Variável		

	Taxa/Largura do Pulso	E	Variável	
	Setpoint	E	Contínuo	
	Fim de curso Máximo/Mínimo	S	Discreto	
Controle de Posição do Servo	Válvula piloto (proporcional)	S	Contínuo	FPID, HGOV
	Fim de curso Máximo/Mínimo	S	Discreto	SPOS, TPOS
Sinais de Medição	Frequência	S	Contínuo	HSPD, TFRQ
	Velocidade	S	Contínuo	HSPD, TFRQ
	Potência	S	Contínuo	MMXU
	Posição do Distribuidor/Válvula	S	Contínuo	SPOS, TPOS
Freio	Freio Aplicado/Desaplicado	E	Pulso	
	Aplica/Desaplica Freio	S	Pulso	HEBR
Relés de Velocidade	Reles de velocidade (Comandos)	S	Pulso	HSPD, FXOT, FXUT
	Sobrevelocidade Elétrico	S	Pulso	
Supervisão de Falhas	Tempo excessivo Partida/Parada	S	Pulso	FXOT ou FXUT
	Correlação do distribuidor	S	Pulso	GGIO
	Falha Partida/Parada	S	Pulso	HSEQ, GGIO
	Falha medição de velocidade	S	Pulso	HSPD, GGIO

### NLs propostos para o IED da Unidade Hidráulica

Função/Serviço	Descrição da Função, Ação, Comando ou Controle	E/S	Tipo de Sinal	Nós Lógicos
Sinal de controle	Entrada na UH	E	Contínuo	KVLV
Comandos	Prepara UH	E	Discretos	GGIO
Tanque do reservatório Principal/Auxiliar	Características do equipamento			KTNK
Moto bomba	Motobomba em operação	S	Discretos	KPMP
Sistema de Intermitência de pressão	Indica intermitência em operação	S	Discretos	GAPC
Válvula de controle Distribuidora	Posição	S	Contínuo	TPOS, SPOS
Válvula Piloto da Válvula Distribuidora	Posição	S	Contínuo	TPOS, SPOS
Válvula de Bloqueio	Posição	S	Discretos	TPOS, SPOS
Válvulas de Alívio	Posição	S	Discretos	TPOS, SPOS
Filtro duplo	Indica sujo	S	Discretos	KFIL
Trocador de calor	Indica Fluxo no trocador	S	Discretos	SFLW
Indicações de Pressão	Indica estado discreto	S	Discretos	TPRS, SPRS
Medição de Pressão	Indica sinal contínuo	S	Contínuo	TPRS, SPRS
Indicações de Temperatura	Indica estado discreto	S	Discretos	TTMP, STMP
Medições de Temperatura	Indica sinal contínuo	S	Contínuo	TTMP, STMP
Indicações de Nível	Indica estado discreto	S	Discretos	TLEV, SLEV
Medição de Nível	Indica sinal contínuo	S	Contínuo	TLEV, SLEV
Moto bomba (Recalque)	Motobomba em operação	S	Discretos	KPMP
Detector de Sobrevelocidade	Indica estado discreto	S	Discretos	GGIO
Proteção Elétrica Moto bomba	Indica estado discreto	S	Discretos	GGIO

### NLs propostos para o IED do IED do Acumulador Ar-Óleo

Função/Serviço	Descrição da Função, Ação, Comando ou Controle	E/S	Tipo de Sinal	Nós Lógicos
Tanque Ar-Óleo	Características do equipamento			KTNK
Indicações de Níveis	Indica estado discreto	S	Discretos	TLEV, SLEV
Medição de Nível	Indica sinal contínuo	S	Contínuo	TLEV, SLEV
Indicações de Pressões	Indica estado discreto	S	Discretos	TPRS, SPRS
Medição de Pressão	Indica sinal contínuo	S	Contínuo	TPRS, SPRS
Indicações de Temperatura	Indica estado discreto	S	Discretos	TTMP, STMP
Válvula de segurança Acum. Ar-óleo	Indica sinal contínuo	S	Contínuo	KVLV
Tanque de Ar	Características do equipamento	S		KTNK
Válvula de segurança Acum.Ar	Posição	S	Discretos	KVLV

### NLs propostos para o IED do Sistema de Compressores de Ar

Função/Serviço	Descrição da Função, Ação, Comando ou Controle	E/S	Tipo de Sinal	Nós Lógicos
Comandos	Local/Remoto/Aciona/Desliga	E	Discretos	GGIO
Moto compressor	Moto compressor em operação	S	Discretos	KPMP
Indicações de Pressão	Indica estado discreto	S	Discretos	TPRS, SPRS
Medição de Pressão	Indica sinal contínuo	S	Contínuo	TPRS, SPRS
Tanque de Ar	Características do equipamento			KTNK
Proteção Elétrica moto compressor	Indica estado discreto	S	Discretos	GGIO

## 5 COMPARAÇÃO

Comparação conceitual dos Sistemas de Regulação:

Função	Sistema de Regulação	Sistema de Regulação Baseado na IEC 61850
Interface Física	Fiação convencional, com relé auxiliar	Simplificação da fiação, interface por rede de comunicação de dados
Interface de Comunicação	Diversos protocolos, dependente de cada fabricante	Ethernet padronizada IEC61850 para todos os fabricantes
Tempo de resposta de um comando	Existem atrasos de relés auxiliares entre as interfaces	Tempo de resposta mais rápida (depende somente do tempo de atraso da rede)
I/Os	Módulos de I/Os têm número limitado de entradas e saídas entre as interfaces	Entradas e saídas são "virtuais", podendo ter um número maior de conexões
Supervisão da Conexão	Em um sistema a fios, não pode avaliar se o mesmo está realmente conectado	O canal de comunicação está constantemente sendo monitorado e qualquer anomalia é informada
Alteração do projeto de interface	Interface é mais complexa: segue projeto convencional executado, qualquer alteração demanda alteração de fiação	Interface é projetada através de <i>software</i> , sendo possível alterar com facilidade
Ensaio e Testes	Comandos devem ser realizados com restrições para evitar ação real	Comandos podem ser realizados colocando os dispositivos em modo de teste ou bloqueio

Funções de Controle e Automatismo	As funções são fixas devido às definições de entradas e saídas	Livre alocação de funções, permitindo flexibilidade pela rede Ethernet
Sensores	Conectados através de fiação	Previsão para a conexão no futuro através de barramento padronizado (processo)

A implementação de um sistema de regulação com base em IEDs e segundo a norma IEC 61850 aplicado somente entre as partes do sistema de regulação já permite diversos avanços, como observado na tabela acima de comparações entre os sistemas. Muito se tem a evoluir nos sistemas baseados em IEC61850, sendo que aqui podemos destacar a grande flexibilidade que a norma IEC 61850 pode agregar aos atuais sistemas digitais de regulação de velocidade.

## 6 CONCLUSÃO

Implementar um sistema de regulação baseado em IEDs e na norma IEC 61850 tende a simplificar a modelagem do aplicativo, porque as funções padronizadas da norma e a camada de comunicação, tendem a gerar implementações padronizadas na camada de aplicativo.

O NL trás mais informações que uma implementação convencional de um tag de comunicação em uma automação. Uma modelagem eficaz e simplificada permite um aumento das lógicas e malhas de controle, aumento da facilidade de testes e ensaios e muitas outras possibilidades. Contudo, vislumbrar uma rede mais ampla, onde são integrados os vários sistemas de controle, regulação e supervisão da unidade geradora, bem como a proteção, utilizando todas as possíveis funções da norma IEC 61850, hoje parece utopia. Ainda não existem sistemas de regulação baseados em IEDs, segundo a norma IEC 61850.

Uma possível implementação de um sistema de regulação poderia ser baseada em IEDs de automação, com poder de processamento adequado à necessidade do sistema e seguindo as versões mais recentes da IEC 61850-7-410, com todos os NLs para a automação implementados no IED. É importante salientar também que, à medida que novas estruturas de controle e novas arquiteturas de sistemas são criadas, devem ser criados novos NLs padronizados para atender essas necessidades. Alguns fabricantes apresentam indicativos que IEDs voltados a implementação de automação de usinas hidroelétricas e compatíveis com a norma IEC 61850-7-410 estão sendo criados e em breve estarão no mercado.

Muitos desafios estão por vir e serão percebidos durante as implementações dos novos projetos e das modernizações em usinas hidroelétricas. Durante o estudo dos NLs das partes IEC 61850-7-4 e IEC61850-7-410 e do Draft para implementação das funções e serviços de cada IED do Sistema de Regulação de Velocidade baseado em IEDs, observou-se que algumas funções não estão bem definidas. Sendo assim, foi necessário lançar mão de NLs genéricos (GGIOs) ou utilizar NLs que mais se aproximem da necessidade de externar ou interfacear os dados.

Outro ponto importante a ser explorado nas implementações de um sistema de regulação de velocidade baseado em IEDs segundo a norma IEC 61850 é definir na modelagem da camada do aplicativo, quais são os sinais a serem externados ou interfaceados entre os diversos componentes e os demais sistemas. Em uma modelagem mais aprofundada do sistema é necessário avaliar quais seriam as informações da malha de regulação de velocidade que cada fabricante apresentaria. O ideal seria ter todas as informações disponíveis para as diversas interfaces possíveis do sistema de regulação de velocidade. Onde estas possíveis interfaces seriam: (a) a interface entre os IEDs do Sistema de Regulação de Velocidade, basicamente dados de estados (binários) e sinais contínuos (analógicos); (b) a interface com sistemas hierárquicos, basicamente informações de estados e sinais e troca de comandos; (c) a interface para parametrização, seja esta uma interface homem máquina (IHM) local, remota ou uma estação de Engenharia, neste último caso o interfaceamento de dados envolveria NLs compatíveis com as funções implementadas pelo fabricante na camada de aplicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 61850-7-410, Edition 1.0 2007-08 - **Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-410**: Hydroelectric power plants - Communication for monitoring and control.
- [2] 57/1038/CD - COMMITTEE DRAFT (CD), 2009-11-06 Project number: IEC 61850-7-410 Ed.2, Title: IEC 61850-7-410 Ed.2: Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-410: Hydroelectric power plants – Communication for monitoring and control.
- [3] IEC 61850-7-4, Edition 1.0 2003 - **Basic communication structure for substation and feeder equipment - Compatible logical node classes and data classes**.
- [4] L. Fabiano, M. Pereira, “**Uma Abordagem Prática do IEC 61850 para Automação, Proteção e Controle de Subestações**”, in VII Simpase, Salvador – BA, 2007.
- [5] J. C. Mazzoleni, A. Mibielli, e P. M Paiva, “**Sistema Integrado De Regulação E Automação: Sistema Coordenado Versus Sistema Integrado**”, in XIX SNPTEE, Rio de Janeiro, Out. 2007.
- [6] A. Mibielli, “**Proposta de modelagem do sistema de regulação de velocidade das unidades geradoras da ITAIPU Binacional utilizando a norma IEC 61850, funcionalidades do sistema e seus automatismos**”. Monografia Pós Graduação – UNIOESTE – Foz do Iguaçu, Paraná, 2010.
- [7] A. Mibielli, L. A. Weiss, S. S. Prates, R. F. Suruagy, C. B. Karia, M. Fascina Junior, Moacir, e F. A Silveira, “**Aplicação de Reguladores Integrados de Tensão e Velocidade**”, in XIX SNPTEE, Rio de Janeiro, Out. 2007.