ENZO BERTAZINI

ANÁLISE DE FUNÇÕES DE UM CONVERSOR DE PROTOCOLOS
DE COMUNICAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO ELÉTRICA,
BASEADO NA UTILIZAÇÃO DA LINGUAGEM
DE MODELAGEM UNIFICADA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

São Paulo
2006

ENZO BERTAZINI

ANÁLISE DE FUNÇÕES DE UM CONVERSOR DE PROTOCOLOS
DE COMUNICAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO ELÉTRICA,
BASEADO NA UTILIZAÇÃO DA
LINGUAGEM DE MODELAGEM UNIFICADA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Sistemas de Potência

Orientador:
Prof. Dr. José Antonio Jardini

São Paulo

2006

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 05 de junho de 2006.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Bertazini, Enzo

Análise de funções de um conversor de protocolos de comunicação para automação elétrica, baseado na Utilização da linguagem de modelagem unificada / E. Bertazini. -- ed.rev. --

São Paulo, 2006.

59 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Protocolos de comunicação 2.UML 3.Programação orientada a objetos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

Aos meus pais Ezio e Marceline, que
sempre lutaram para que seus filhos
recebessem a inalienável herança da
educação e da cultura.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. José Antonio Jardini pela paciência, compreensão e estímulo.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Magrini pelas informações valiosas na área de protocolos de comunicação.

A todos que, direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

RESUMO

A evolução das técnicas de desenvolvimento de sistemas de software tem trazido melhorias na qualidade dos projetos desenvolvidos e na redução do tempo para seu desenvolvimento. Os conversores de protocolos sempre foram desenvolvidos através de técnicas análise, projeto e programação estruturada. Este trabalho tem por objetivo estudar as características da análise, projeto e programação orientados a objetos e sua aplicabilidade ao desenvolvimento de um conversor de protocolos de comunicação para a área de automação elétrica. Serão objetos deste estudo dois protocolos de comunicação com diferentes características de implementação sendo estes o protocolo IEC 60870-5-101 e o protocolo Modbus. O desenvolvimento obedece à sintaxe e semântica dos diagramas da UML (Unified Modeling Language), utilizando a ferramenta Rational Rose.

ABSTRACT

The evolution of the development software techniques has brought improvements in the quality of the developed projects and in the reduction of the time for its development. The converters of protocols had been always developed through techniques analysis, project and structuralized programming. This work has for objective to study the characteristics of the object-oriented analysis, project and programming and its applicability to the development of a converter of protocols of communication for the area of electric automation. Two protocols of communication with different characteristics of implementation will be objects of this study being the protocol IEC the 60870-5-101 and Modbus protocol. The development obeys the syntax and semantics of the diagrams of UML (Unified Modeling Language), using the Rational Rose tool.

.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Sistemas de Supervisão e Controle do Sistema de Potência.....	1
1.2 - Sistemas de Automação de Subestações, de Usinas e da Distribuição.....	3
1.2.1 - Sistemas de Automação de Subestações.....	3
1.2.2 - O Sistema de Automação de Usinas.....	4
1.2.3 - O Sistema de Automação da Distribuição	5
1.3 - Conceituação e Objetivos.....	6
1.4 - Apresentação	7
2 - PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	9
2.1 - Introdução	9
2.2 - Protocolo Modbus.....	9
2.3 - Protocolo IEC 60870-5	11
3 - METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO - LINGUAGEM DE MODELAGEM UNIFICADA (UML)	26
3.1 - Introdução	26
3.2 - Visões de um sistema.....	26
3.3 - Diagramas da UML	27
3.4 - A UML na Implementação do Conversor de Protocolos.....	28
3.5 - Modelagem de Casos de Uso	28
3.5.1 - Modelo de casos de uso	28
3.6 - Modelagem de Classes de Domínio	29
3.6.1 - Modelo de classes.....	30
3.6.2 - Diagrama de classes	30
3.7 - Modelagem de Interações (Diagramas de Sequência).....	31
3.7.1 - Interações através de mensagens.....	32
3.7.2 - - Sintaxe da UML e especificação de mensagens	33

3.8 - Modelagem de Estados	33
3.8.1 - Elementos de um Diagrama de transição de estados.....	35
4 - DESENVOLVIMENTO DAS FUNÇÕES DE CONVERSÃO DOS PROTOCOLOS UTILIZANDO A UML	36
4.1 - Casos de Uso	36
4.1.1 - Caso de Uso 1: Inicialização.....	36
4.1.2 - Caso de Uso 2: Leitura de Entradas Digitais	37
4.1.3 - Caso de Uso 3: Leitura de Entradas Analógicas	37
4.1.4 - Caso de Uso 4: Escrita de Valor Digital (Telecomando)	38
4.1.5 - Diagrama de Casos de Uso do Conversor de Protocolos.	39
4.2 - Modelos de Classes do Conversor de Protocolos.....	40
4.2.1 - Modelo de Classes de Domínio.....	40
4.2.2 - Modelo de Classes de Especificação	41
4.3 - Diagramas de Sequência dos Casos de Uso	43
4.4 - Diagramas de Estado	46
5 - TESTES	50
6 - CONCLUSÃO.....	55
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE TABELAS

Tabela I- Sequência <i>Request-Responde</i> para Telecomando.....	25
Tabela II - Sequência <i>Request-Responde</i> para Telecomando	25
Tabela III - Sequência de Mensagens para Inicialização	52
Tabela IV - Sequência de Mensagens para <i>Select</i>	53
Tabela V - Legenda dos Campos das Mensagens IEC e Modbus	53
Tabela VI - Sequência de mensagens para <i>Execute</i>	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia de um Sistema de Supervisão e Controle	2
Figura 2 - Hierarquia de um Sistema de Automação de Subestação	3
Figura 3 - Hierarquia de um Sistema de Automação de Usina	4
Figura 4 - Atividades de um Sistema de Automação da Distribuição	5
Figura 5 - Diagrama de Blocos da Aplicação de um Conversor de Protocolos	7
Figura 6 - Estrutura de mensagem tipo Modbus ASCII.	10
Figura 7 - Estrutura de mensagem tipo Modbus RTU.....	10
Figura 8 - Comparação entre os modelos ISO/OSI e EPA.	12
Figura 9 - Formatação da camada de enlace.	14
Figura 10 - Tipos de <i>frames</i> do formato FT1.2	15
Figura 11 - Estrutura do campo <i>Control Field</i>	15
Figura 12 - Estrutura de dados do usuário	16
Figura 13 - Estrutura detalhada de uma ASDU.....	17
Figura 14 - ASDU para comando duplo	17
Figura 15 - Estrutura de mensagem de telecomando Modbus.	19
Figura 16 - Primitivas para <i>request-respond</i>	20
Figura 17 - Sequência <i>Request-Responde</i> para Inicialização baseado em [7]	21
Figura 18 - Sequência <i>Request-Responde</i> para Telecomando baseado em [7].....	23
Figura 19 - Diagramas da UML	27
Figura 20 - Representação de um Caso de Uso.....	29
Figura 21 - Notações utilizadas para a representação de classes.....	31
Figura 22 - Construção de um Diagrama de Sequência.....	33
Figura 23 - Elementos de um diagrama de transição de estados.	34
Figura 24 - Casos de Uso Estudados	39
Figura 25 - Classes de domínio da implementação dos casos de uso 1 e 2	40
Figura 26 - Classes de domínio da implementação dos casos de uso 3 e 4	41
Figura 27 - Classes envolvidas na inicialização do centro de controle	41
Figura 28 - Classes envolvidas na solicitação de leitura de entradas digitais.....	42
Figura 29 - Classes envolvidas na solicitação de leitura de entradas analógicas	42
Figura 30 - Classes envolvidas na solicitação de telecomando.....	43
Figura 31 - Diagrama de sequência para o caso de uso 1 (inicialização)	44

Figura 32 - Diagrama de sequência para o caso de uso 4 (telecomando)	45
Figura 33 - Diagrama de estados da classe R_FRM_IEC.....	46
Figura 34 - Diagrama de estados da classe E_FRM_IEC.....	46
Figura 35 - Diagrama de estados da classe E_MSG_MOD	47
Figura 36 - Diagrama de estados da classe R_MSG_MOD.....	47
Figura 37 - Diagrama de estados da classe CV_INIC	47
Figura 38 - Diagrama de estados da classe CV_TC	48
Figura 39 - Diagrama de estados da classe T_FRM_IEC na inicialização.....	48
Figura 40 - Diagrama de estados da classe T_FRM_IEC na seleção de ponto.....	49
Figura 41 - Diagrama de estados da classe T_FRM_IEC na execução de comando .	49
Figura 42 - Configuração de Hardware para testes da implementação.	50

1 - INTRODUÇÃO

O sistema elétrico, desde a geração até o consumidor final, é um complexo conjunto de elementos interconectados e interdependentes.

Já faz algum tempo que os sistemas digitais vêm sendo utilizados na Automação Elétrica seja para a automação da geração, da transmissão ou distribuição de energia elétrica.

O termo Automação Elétrica tem sido usado para designar estes sistemas digitais que são utilizados para supervisão, comando, controle e proteção dos vários componentes do sistema elétrico [1].

Estes sistemas podem ser classificados, quanto ao processo a que estão relacionados em:

- Sistemas de supervisão do sistema de potência.
- Sistema de automação de subestações.
- Sistema de automação de usinas.
- Sistema de automação da distribuição.

Distinguem-se quanto às funções de comando, controle, supervisão e proteção que neles estão instaladas, portanto aos seus objetivos. Eles trocam informações entre si, de forma a executar suas funções, sem duplicação na coleta de dados e nas ações, estando ligados entre si através de uma rede de comunicação de dados que constitui a espinha dorsal destes sistemas [1].

1.1 - Sistemas de Supervisão e Controle do Sistema de Potência

Os sistemas de supervisão e controle do sistema de potência (SSC), também conhecidos por Sistema de gerenciamento da Energia (EMS – *Energy Management System*) fornece os mecanismos para a coordenação da operação e da manutenção do sistema elétrico. O SSC “enxerga” o sistema elétrico de uma forma global.

O SSC é composto por níveis hierárquicos, onde cada nível exerce determinadas funções e/ou ações. Na Figura 1 temos um exemplo de SSC.

No exemplo podemos verificar os seguintes níveis hierárquicos:

- UAC – unidade de aquisição e controle
- COR – centro de operação regional
- COS – centro de operação do sistema

Figura 1 - Hierarquia de um Sistema de Supervisão e Controle

As UAC são microcomputadores/PLC/controladores, que são encarregados da interação com o processo. Elas são capazes de operar em ambientes hostis e com baixa taxa de falhas. Nelas ocorre a aquisição dos dados do campo e o comando de manobra dos equipamentos. As seguintes funções estão associadas a este nível hierárquico:

- Entrada de dados digitais;
- Entrada de dados analógicos;
- Saída digital;
- Saída analógica.

É comum encontrarmos algumas UAC's para cada subestação e usina. As UAC's se comunicam com o COR através de canal de telecomunicações.

No COR ocorrem a supervisão e o controle das subestações e usinas. Nele chegam todos os sinais que foram coletados pelas UAC's e é dele que partem os telecomandos para manobras de equipamentos. É no COR que reside a função SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) do sistema. O sistema SCADA é utilizado pelo operador do sistema elétrico para monitorar e controlar a rede. [1]

No COS é realizada a operação centralizada do sistema, bem como a coordenação da geração e da carga. Nele está localizado um sistema com as funções de “alto nível” que visam permitir a operação segura do sistema. Seguem alguns exemplos destas funções:

- Previsão de carga ligada;

-Programação hidro-energética, previsão de cheias e vazões efluentes nos reservatórios;

- Fluxo de potência;
- Estimador de estado;
- Análise de contingência;
- Otimização da geração e transmissão;
- Controle automático de geração (CAG), ou o controle de carga e frequência;
- Coordenação da manutenção, etc.

No Brasil existem vários SSC em operação e necessitam trocar informações entre si, visto que todos os sistemas de transmissão são interligados e, portanto interdependentes.

1.2 - Sistemas de Automação de Subestações, de Usinas e da Distribuição.

1.2.1 - Sistemas de Automação de Subestações.

O sistema utilizado para realizar estas funções pode variar em complexidade, mas será sempre composto por um sistema central, por um sistema de aquisição de dados e por unidades dedicadas (com algumas funcionalidades muito semelhantes as UAC) com finalidades específicas, como os relés digitais, por exemplo. Estes subsistemas são interligados normalmente por uma LAN, que pode ser, por exemplo, uma rede Ethernet [1]. Na Figura 2 temos um exemplo deste tipo de sistema.

Figura 2 - Hierarquia de um Sistema de Automação de Subestação

Com relação aos aspectos de conectividade e possíveis trocas de equipamen-

tos/tecnologias, para o sistema central tem-se adotado redes Ethernet. Para o protocolo de comunicação de dados deve ser adotado o modelo OSI sempre que possível, mas na prática o TCP/IP acabou dominando o mercado por ter se tornado um padrão “de fato”.

Já no sistema de aquisição de dados o problema é maior. Há fabricantes especializados neste tipo de equipamento. Estes fabricantes fornecem redes próprias para interligar seus equipamentos e trabalham muitas vezes com protocolos proprietários.

1.2.2 - O Sistema de Automação de Usinas

Os sistemas utilizados para a automação de usinas são bastante parecidos com aqueles utilizados para a automação de subestações, diferenciando-se destes apenas em algumas funções, específicas da geração. A diferença no processo de geração da energia (usinas hidrelétricas, termoeletricas, etc.) também traz diferenças nas funções de automação.

A Figura 3 mostra uma configuração de um sistema de automação para uma usina hidrelétrica.

Existe uma semelhança do sistema de Automação de Usinas com os sistemas de automação de subestações. Fazem parte do subsistema de aquisição e controle equipamentos dedicados, como: relés de proteção, equipamentos reguladores de tensão, reguladores de velocidade dos geradores e controladores das comportas. Estes equipamentos se integram ao sistema via rede, como no caso dos relés de proteção digital ou via UAC, no caso dos reguladores e controladores.

Figura 3 - Hierarquia de um Sistema de Automação de Usina

Em grandes usinas, subsistemas independentes, que muitas vezes são operados isoladamente, se integram ao sistema geral de automação através da LAN.

1.2.3 - O Sistema de Automação da Distribuição

A distribuição de energia elétrica envolve atividades multidisciplinares que incluem engenharia, comercialização, administração, etc. A diretoria de distribuição de uma concessionária abrange vários departamentos que interagem e possuem sistemas computacionais específicos para exercer as suas atividades [1].

Figura 4 - Atividades de um Sistema de Automação da Distribuição

A automação da distribuição trata da integração destes sistemas digitais de forma que utilizem dados comuns e permitindo que eles mantenham sua independência e privacidade. Este sistema interage com outros sistemas da concessionária, como o Sistema de Supervisão e Controle da Geração/Transmissão (SSC ou EMS) e o Sistema Corporativo.

Este sistema, no que se refere à operação (COD), utiliza dados distribuídos na área de concessão e envia comandos a diferentes pontos. É de vital importância para

este sistema, o meio de comunicação utilizado na transferência de dados entre o Sistema Computacional Central e as UAC e medidores.

O sistema de automação da distribuição é então composto por vários subsistemas que vão compartilhar uma base de dados comum para poder exercer as suas funções. A Figura 4 contém um esquema de como é constituído o sistema de automação da distribuição.

A integração destes sistemas heterogêneos em múltiplas plataformas é uma tarefa complexa que nem sempre conduz a resultados plenamente satisfatórios. A adoção de padrões internacionais facilita a interoperabilidade, mas por outro lado gera incertezas quanto ao futuro do padrão utilizado, no caso de existirem outros padrões com a mesma finalidade.

No caso dos protocolos voltados para a comunicação de dados no nível do campo com equipamentos específicos do setor elétrico os padrões têm aceitação regionalizada. O IEEE sugere a utilização dos protocolos DNP ou IEC 60870-5. Forças de mercado fizeram com que nos EUA o DNP 3.0 exerça um domínio quase absoluto, enquanto que na Europa o IEC 60870-5 é o mais utilizado.

Na comunicação de dados corporativa é utilizado o TCP/IP sobre Ethernet, que é suportado por praticamente todos os fabricantes.

1.3 - Conceituação e Objetivos.

Pela própria história do desenvolvimento do setor elétrico no Brasil, temos ainda hoje; mesmo após algumas modernizações localizadas que ocorreram na última década; um problema antigo e que devido a fatores econômicos deve se prolongar ainda por muito tempo. Este problema é referente à padronização dos protocolos de comunicação utilizados na comunicação entre esses componentes. Nos diferentes níveis de supervisão e controle da geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no Brasil as diferentes concessionárias quando efetuam suas modernizações a fazem de forma parcial, com a utilização de novas UAC (Unidade de Aquisição Controle) muitas das quais utilizando protocolos de comunicação proprietários ou incompatíveis com os equipamentos antigos que não são substituídos. Outras vezes, o *hardware* e o *software* do COR e do COS são atualizados, mas não as UAC.

Esta dificuldade tem sido superada por iniciativa de órgãos internacionais que procuram padronizar protocolos de comunicação para equipamentos de automação

elétrica. Especificamente, é interessante mencionar os protocolos IEC 60870-5 e o protocolo DNP 3.0, que definem as regras usadas na automação de sistemas elétricos para comunicação de equipamentos.

Em particular existem as aplicações específicas da norma IEC 60870-5, denominada IEC 60870-5/101 que detalha a comunicação de um Sistema Central com uma UAC, e a IEC 60870-5/103 que detalha a comunicação de um computador com relés digitais.

Para possibilitar a comunicação entre equipamentos com diferentes protocolos de comunicação, é necessária a utilização de um equipamento chamado conversor de protocolos. Os conversores de protocolos usualmente são implementados em *hardware* dedicado e *software* desenvolvido através de linguagens de programação estruturadas.

Este trabalho tem por objetivo estudar uma metodologia para o desenvolvimento de conversores de protocolos de comunicação empregando técnicas de análise, projeto e programação orientados a objetos. Estes conversores de protocolos de comunicação poderiam ser utilizados em qualquer um dos níveis de supervisão e controle para permitir a integração de novos equipamentos com os já existentes, visto que as iniciativas para adoção de um protocolo padrão só fazem sentido com a total substituição dos equipamentos existentes; em todos os níveis hierárquicos de automação. O diagrama de blocos da Figura 5 mostra a sua utilização.

Figura 5 - Diagrama de Blocos da Aplicação de um Conversor de Protocolos

1.4 - Apresentação

Neste Capítulo 1, “INTRODUÇÃO” foi apresentada uma discussão sobre a constituição dos sistemas de automação usados no setor de energia elétrica, os objetivos deste trabalho e esta apresentação.

No Capítulo 2 “PROTÓCOLOS DE COMUNICAÇÃO” são apresentados os protocolos Modbus e IEC 60870-5 que serão tratados no decorrer deste trabalho.

No Capítulo 3, “METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO - LINGUAGEM DE MODELAGEM UNIFICADA (UML)” linguagem visual para modelar programação orientada a objetos, usada neste trabalho.

No Capítulo 4, “DESENVOLVIMENTO DAS FUNÇÕES DE CONVERSÃO DOS PROTÓCOLOS USANDO A UML” são apresentados os diagramas UML que especificam as funções desenvolvidas neste trabalho.

No Capítulo 5, “TESTES” é apresentada a plataforma de hardware utilizada para testes do software desenvolvido para confirmação do estudo realizado neste trabalho e as mensagens trocadas.

No Capítulo 6, “CONCLUSÃO” as observações relativas ao desenvolvimento deste trabalho.

2 -PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

2.1 - Introdução

Para o foco no estudo de um conversor de protocolos, serão estudados dois protocolos de comunicação, que servirão de exemplo para a aplicação da metodologia a ser desenvolvida; o protocolo Modbus (padrão de fato) e o protocolo IEC 60870-5.

2.2 - Protocolo Modbus

É um protocolo utilizado para comunicação com controladores programáveis, atuadores, etc. Utiliza o método de acesso mestre-escravo, onde somente o mestre pode iniciar uma transação. As transações possíveis podem ser do tipo pergunta/resposta, onde apenas uma única estação é endereçada, ou do tipo *broadcast*, onde todas as estações escravas são endereçadas.

Cada transação compreende uma única mensagem de pergunta e somente uma única mensagem de resposta.

O Modbus admite até 247 equipamentos escravos, numa mesma rede física.

Ao receber uma mensagem o escravo após efetuar o teste de integridade de erros executa a ordem recebida, monta a estrutura de mensagem resposta e a envia ao mestre. Mensagens tipo *broadcast*, não necessitam de resposta [2].

A) Estrutura das Mensagens

O Modbus apresenta dois modos de transmissão. Os modos são denominados de ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) e RTU (*Remote Terminal Unit*). Além da estrutura das mensagens estarem em modo caractere ou binário, os dois modos diferem também no método de detecção de erro, já que no ASCII é utilizado o LRC (*Longitudinal Redundancy Check*) enquanto que no modo binário é usado o CRC (*Cyclical Redundancy Check*). Quanto ao número de bits de dados para transmissão serial, no modo ASCII são usados 7 bits de dados por caractere, ao passo que no modo RTU são utilizados 8 bits de dados por caractere [2].

B) Estrutura das Mensagens Tipo ASCII

Todas as mensagens se iniciam pelo caractere dois pontos (“:”), que atua como demarcador de início de mensagem, enquanto que o *Carriage Return* (CR) e o *Line Feed* (LF) estabelecem o fim da mensagem. O caractere LF além de sinalizar o final da mensagem, indica ainda que a estação transmissora está apta para receber outra mensagem [2]. A estrutura desta mensagem é mostrada na Figura 6.

Início Mensagem	Endereço	Código Função	Dados	Detecção de erro	Fim da mensagem	Pronta
:	2 bytes	2 bytes	n palavras de 2 bytes	2 bytes (LRC)	CR (0x0D)	LF (0x0A)

Figura 6 - Estrutura de mensagem tipo Modbus ASCII.

C) Estrutura das Mensagens Tipo RTU

Neste tipo de *frame* não é utilizado caractere de sincronismo, pois decorrido o período de tempo equivalente a três e meio caracteres sem recepção de qualquer caractere, o equipamento encerra o *frame* corrente e assume que o próximo caráter a ser recebido será um caractere de endereço da mensagem seguinte[2]. A estrutura desta mensagem é mostrada na Figura 7.

T1, T2, T3, T4	Endereço	Função	Dados	Detecção de erros	T1, T2, T3, T4
	8 bits	8 bits	n caracteres de 8 bits	16 bits (CRC)	

Figura 7 - Estrutura de mensagem tipo Modbus RTU.

D) Campo de Endereço

O endereço define univocamente o equipamento na rede. É utilizado tanto na mensagem de interrogação produzida pelo mestre, como na mensagem de resposta do escravo, a fim de identificá-lo.

E) Campo de Função

Define a operação a ser executada pelo escravo. Por sua vez o escravo devolve na sua mensagem o código da função realizada. Os códigos de função aceitos pelo Modbus estão relacionados abaixo:

01 - *Read Coil Status*

- 02 - *Read Input Status*
- 03 - *Read Holding Registers*
- 04 - *Read Input Registers*
- 05 - *Force Single Coil*
- 06 - *Preset Single Register*
- 07 - *Read Exception Status*
- 08 - *Diagnostics Subfunctions*
- 11 - *Fetch Comm Event Ctr*
- 12 - *Fetch Comm Event Log*
- 15 - *Force Multiple Coils*
- 16 - *Preset Multiples Regs*
- 17 - *Report Slave ID*
- 20 - *Read General Reference*
- 21 - *Write General Reference*
- 22 - *Mask Write 4x Registers*
- 23 - *Read/Write 4x Registers*
- 24 - *Read FIFO Queue*

Para a área de automação elétrica são mais frequentemente utilizadas as funções Modbus de códigos 02, 03. Além destes dois códigos são utilizados no desenvolvimento deste trabalho os códigos 05 e 08.

F) Campo de Dados

É utilizado pelo mestre para transferir parâmetros necessários à função solicitada ou ainda pelo escravo na sua resposta. Assim esse campo pode vir preenchido por valores, endereços de referência ou ainda limites.

2.3 - Protocolo IEC 60870-5

Este protocolo tem por objetivo atender os requisitos e condições para transmissão de dados em sistemas de telecontrole. Baseia-se nos conceitos do modelo ISO do *Open System Interconnection* (OSI), de três camadas denominadas EPA (*Enhanced Performance Architecture*) [3]. A comparação entre as duas arquiteturas esta mostrada na Figura 8.

Camada	ISO/OSI	EPA
7	Aplicação	Aplicação
6	Apresentação	
5	Sessão	
4	Transporte	
3	Rede	
2	Enlace	Enlace
1	Física	Física

Figura 8 - Comparação entre os modelos ISO/OSI e EPA.

A) Formatos de *Frames*

A norma IEC 60870-5-1 buscando atingir o compromisso entre integridade de dados e transmissão de dados eficiente, e ao mesmo tempo não criar restrições aos dados do usuário, propõe três formatos distintos para as mensagens (FT 1.1 e FT 1.2, FT 2 e FT 3) [4], tentando dessa forma atender as mais diversas necessidades com relação a comprimento do caractere, comprimento dos *frames*, técnicas para detecção de erros, etc.

B) *Companion Standard 103*

Particulariza a norma IEC 60870-5 para comunicação com equipamentos de proteção. Nesse *companion standard* fica estabelecido que:

É utilizado como meio físico o EIA RS 485, suportando até 32 unidades de proteção por linha física, operando em 9600 ou 19200 bps.

Utiliza formato FT 1.2, sendo que o volume de dados do usuário fica limitado a 255 bytes.

Transmissão desbalanceada (mestre/escravo), sendo o relé sempre atuando como escravo.

O ASDU passa a apresentar somente um objeto de informação. O campo *Data Unit Identified* passa a ocupar sempre 4 octetos.

São definidos 37 objetos de informação específicos para relés de proteção, bem como ASDUS específicos para monitoração e controle dos equipamentos.

C) *Companion Standard 101*

Particulariza a norma IEC 60870-5 para comunicação com Unidades de Aquisição e Controle (UAC), tais como remotas e controladores programáveis [5]. Dentre elas podemos citar:

Aceita transmissão no modo balanceado e desbalanceado. No modo desbalanceado opera de forma assíncrona, admitindo taxa de transmissão até 9600 bps, enquanto que no modo balanceado faz uso do modo síncrono com taxas de até 56 kbps.

Suporta configuração ponto a ponto, multiponto, estrela e anel.

Utiliza o formato FT1.2, com mensagens de comprimento fixo e variável.

Admite um ou dois bytes para endereçamento. Com um byte o endereço para *broadcast* é 255, enquanto que para dois bytes o endereço de *broadcast* passa a ser 65535;

No modo *polling* usa o serviço *request/respond*;

Cada *frame* pode apresentar um único ASDU.

Foi suprimido o campo de comprimento do ASDU. Como o ASDU é único a extensão pode ser calculada a partir do comprimento do *frame*.

Especifica uma coleção de objetos para suporte às funções de monitoração e controle, incluindo transferência de arquivos, sincronização de relógio, sequência de eventos, transferência de *set-points* [5].

D) Camada de Enlace

Proporciona três tipos de serviços básicos: transmissão sem/com confirmação e pergunta/resposta.

Estes serviços estabelecem uma sequência de diálogos inseparáveis entre a estação que efetuou a interrogação e a estação a que responde, estando disponíveis em transmissões balanceadas e desbalanceadas.

As transmissões desbalanceadas são normalmente utilizadas em sistemas supervisórios, que se comporta como mestre interrogando ciclicamente todos os equipamentos conectados a ele (escravos). As estações remotas somente podem transmitir no instante em que são interrogadas.

Já as transmissões balanceadas são restritas a configurações ponto a ponto, operando em modo duplex. Nesse tipo de conexão todas as estações têm o mesmo direito de transmissão, não existindo a figura do mestre.

A ASDU (*Application Service Data Unit*) é um bloco de dados que é transmitido de uma estação para outra.

De acordo com o modelo EPA alguma informação do tipo APCI (*Application Protocol Control Information*) é normalmente adicionada a ASDU para formar a APDU (*Application Protocol Data Unit*). No protocolo IEC 870-5-101 isto não é necessário tornando a APDU igual a ASDU [5].

A camada de enlace adiciona seu próprio LPCI (*Link Protocol Control Information*) ao APDU para formar o LPDU (*Link Protocol Data Unit*). Sua formação é mostrada na Figura 9:

Figura 9 - Formação da camada de enlace.

Os campos que formam o LPCI são:

S - Caractere de início do *frame*.

L - Comprimento do *frame* (0 a 255). Aparece duplicado.

CF - *Control Field*. Este campo contém informações que caracterizam a direção da mensagem, o tipo de serviço proporcionado e suporta funções que suprimem perda ou duplicação de mensagens.

A - Endereço (enlace).

CS - *Check Sum*.

E - Caractere de fim de *frame*.

A Figura 10 mostra os três tipos de *frames* utilizados na camada de enlace da especificação IEC 60870-5-101 e que utiliza o formato de *frame* FT1.2 [4].

Figura 10 - Tipos de *frames* do formato FT1.2

Para os *frames* de tamanho variável e de tamanho fixo o campo CF (*Control Field*) é detalhado a seguir. A Figura 11 mostra a estrutura dos bits que formam esse campo.

8	7	6	5	4	1	← bits
RES	PRM	FCB	FCV	Função	utilizados no sentido mestre-escravo	
		ACD	DFC		utilizados no sentido escravo-mestre	

Figura 11 - Estrutura do campo *Control Field*

RES - Reservado (utilizado em comunicações balanceadas)

FCB - *Frame count bit*: alterna entre 0 e 1, sendo utilizado na detecção de perdas e duplicação de informações. A cada nova mensagem o mestre alterna esse bit (para um mesmo escravo).

FCV - *Frame count bit valid*: habilita (=1) ou desabilita (=0) o FCB, nas mensagens do mestre para o escravo.

DFC - Existe apenas nas mensagens do escravo para o mestre, sendo utilizado para indicar que o escravo está com sua área de buffer esgotada, e qualquer mensagem adicional poderá causar um *overflow*.

ACD - Existe apenas no sentido escravo, mestre. Indica a disponibilidade de dados classe 1 (eventos ou mensagens de prioridade elevada) para ser transmitido ao mestre.

PRM - Indica o sentido das mensagens:

= 0 mensagem proveniente do escravo;

= 1 mensagem proveniente do mestre.

Function Code - Ocupa os 4 bits menos significativos. Apresenta códigos para confirmação ou negação de mensagens, além de código para transmissão de dados. Os serviços disponibilizados pelos códigos de função possíveis são: *send/reply* (utilizados para mensagens globais e setpoints cíclicos), *send/confirm* (utilizados em mensagens de comandos e setpoints) e *request/respond* (utilizados em leituras cíclicas).

E) Camada de Aplicação

Define estrutura para os dados do usuário, denominada de ASDU (*Application Service Data Unit*) [6]. Conforme pode ser observado na Figura 12, cada ASDU é composta de uma estrutura *Data Unit Identifier*, seguida de várias estruturas do tipo *Information Object*. O ASDU é encerrado pela *Common Time Tag*.

Uma ASDU geral poderia ser assim representada:

Figura 12 - Estrutura de dados do usuário

F) Estrutura de uma ASDU

Uma estrutura do tipo “*Data Unit Identifier*” possui sempre a mesma estrutura para todas as ASDU. Os campos “*Information Object*” de uma ASDU terão sempre a mesma estrutura e tipo, que forem definidas no campo “*Type Identification*” [5]. A figura 13 mostra esta estrutura.

Figura 13 - Estrutura detalhada de uma ASDU

G) Exemplo da ASDU para função de telecomando (comando duplo - SBO)

A figura 14 mostra como é formada a ASDU para um comando duplo quando da utilização *frames* de tamanho variável.

Bits								Estruturas	
8	7	6	5	4	3	2	1		
0	0	1	0	1	1	1	0	Type Identification = 46	DATA UNIT IDENTIFIER
0	0	0	0	0	0	0	1	Variable Structure Qualifier	
Definido em G.1								Cause of Transmission	
Definido em G.2								Common Address of ASDU	
Definido em G.3								Information Object Address	INFORMATION OBJECT
S/E	QU					DCS	DCO: Definido em G.4		

Figura 14 - ASDU para comando duplo

G.1 - Cause of Transmission

Na direção de controle (UAC):

6 = ativação,

8 = desativação.

Na direção de monitoração (sistema SCADA):

7 = confirmação de ativação,

9 = confirmação de desativação,

10 = término de ativação.

G.2 - *Common Address of ASDU*

Endereço das estações (UACs):

0 = não utilizado,

1 a 65534 = endereços válidos para estações,

65535 = endereço global (para todas as estações).

G.3 - *Information Object Address*

0 = Endereço de objeto de informação irrelevante.

de 1 a 65535 = Endereços de objeto de informação válidos

G.4 - DCO (duplo comando)

DCS (estado do duplo comando):

0 e 3 = não permitido,

1 = OFF,

2 = ON.

QU (qualificação do comando):

0 = sem definição adicional,

1 = pulso de curta duração (depende do sistema),

2 = pulso de longa duração (depende do sistema),

3 = saída persistente,

4 a 8 = reservado para definições futuras do padrão,

9 a 15 = reservado para seleção de outras funções pré-definidas,

16 a 31 = reservados para uso especial (faixa particular).

S/E (*select/execute*)

0 = *Execute*,

1 = *Select*

Para os *frames* de tamanho fixo a função de comando solicitada está inserida dentro do campo *Control Field*, como especificado no sub-item D do item 2.3.

H) Exemplo da função de telecomando Modbus(*Force Single Coil* - 05)

A figura 15 mostra como é formada a mensagem Modbus para solicitação de execução de um comando, não estando representada a palavra de 16 bits de controle de erro. No protocolo Modbus a execução do comando é direta, não existindo a seleção prévia do ponto a ser comandado.

		Dados			
Endereço UAC	Função	<i>Coil Address</i>		<i>Force Data</i>	
8 bits	8 bits	Hi	Lo	Hi	Lo
Definido em H.1	05	Definido em H.2		Definido em H.3	

Figura 15 - Estrutura de mensagem de telecomando Modbus.

H.1 - Endereço da UAC

0 = endereço global (para todas as UAC)

1 a 247 = endereços válidos para cada UAC individualmente

H.2 - Coil Address

0 a 65535 = endereços válidos para pontos a serem comandados. O maior número permitido dentro da faixa possível de endereçamento depende exclusivamente do modelo de controlador Modbus utilizado como UAC.

H.3 - Force Data

Hi = 255 e Lo = 0 - solicitação para comando *ON*.

Hi = 0 e Lo = 0 - solicitação para comando *OFF*.

I) Procedimentos de *request-respond* para modo desbalanceado.

Cada aplicação de monitoração e controle pode ter uma “função principal da aplicação” e uma “função secundária da aplicação”. Uma “função principal” é a parte da aplicação responsável por solicitar a aplicação remota por meio da “função secundária” informações necessárias a execução da aplicação. Tarefas solicitadas são executadas por meio de serviços de comunicação sequenciais. Os serviços de comunicação sequenciais são descritos por sequências de primitivas [7].

As primitivas utilizadas nos procedimentos de request-repond são:

Serviço.request (.req): A aplicação principal inicia a solicitação através desta primitiva para a aplicação secundária por meio dos serviços de comunicação.

Serviço.indicação (.ind): os serviços de comunicação utilizam esta primitiva para entregar a aplicação secundária a indicação da solicitação.

Serviço.response (.res): A aplicação secundária usa esta primitiva para responder a solicitação proveniente dos serviços de comunicação.

Serviço.confirm (.con): Os serviços de comunicação utilizam esta primitiva para entregar para a aplicação principal a resposta da aplicação secundária.

A figura 16 mostra as primitivas utilizadas em serviços com e sem confirmação.

Figura 16 - Primitivas para *request-respond*

Neste trabalho serão implementadas para confirmação do estudo desenvolvido as funções de inicialização e de telecomando que têm o detalhamento das sequências *request-respond* realizadas a seguir.

J) Sequência de *Request-Respond* para Inicialização.

Na inicialização da estação de controle, solicita-se o *status* do *link* de comunicação e o posterior *reset* do mesmo. Esta sequência de operações pode ser realizada somente entre a estação de controle (SCADA) e o conversor de protocolos, pois o protocolo Modbus não possui este tipo de procedimento. A Figura 17 mostra a sequência de procedimentos para a inicialização.

Figura 17 - Sequência *Request-Response* para Inicialização baseado em [7]

Com o objetivo de promover uma melhor iteração entre estação de controle e UAC, foi incluída nesta sequência de procedimentos o envio para a UAC de uma função que solicita o *reset* da porta de comunicação serial da mesma. O detalhamento dos procedimentos será realizado no capítulo 4.

Após a inicialização da estação de controle, entra em um processo de solicitação cíclica de dados, solicitando dados de classe 1 e classe 2.

O conjunto de protocolos da norma IEC 60870-5, especifica duas classes de dados, os dados classe 1 e classe 2. Os dados de classe 1 (espontâneos) são relativos a eventos registrados pela UAC. Os dados de classe 2 são referentes a informações que devem ser constantemente atualizadas na estação de controle.

Em um sistema SCADA a aquisição de dados é realizada de forma cíclica (*polling*) operando em modo desbalanceado com o objetivo de atualizar a estação de controle com os valores de variáveis de processo existentes nas UAC. Neste caso as UAC só transmitem informações quando estas são solicitadas.

O *companion standard* IEC 870-5-101 especifica os serviços de *link Request user data class 2* para ser usado na solicitação cíclica de dados existentes nas UAC e *Request user data class 1* para a solicitação de dados espontâneos.

Em caso de só ser utilizado o serviço *Request user data class 2* na realização da leitura cíclica, uma reposta pode conter no campo *Control Field* a sinalização de que existem dados classe 1 para serem lidos. Neste momento um serviço *Request user data class 1* pode ser solicitado para a leitura dos mesmos.

O protocolo Modbus não contempla dados classificados em classes tendo em suas funções apenas tipos de dados que podem ser lidos por leitura cíclica, sendo compatíveis com a definição de dados classe 2 do protocolo IEC 60870-5.

Para a compatibilização destes tipos de dados entre o protocolo IEC 60870-5-101 e o protocolo Modbus, o conversor de protocolos tem a função de responder a uma solicitação de dados classe 1 com a indicação *Requested data not available*.

K) Sequência de *Request-Respond* para Telecomando.

A Figura 18 mostra a sequência de procedimentos para telecomando. Para a execução de um telecomando no protocolo IEC 60870-5-101 é necessária a solicitação de seleção do ponto a ser comandado, a resposta de confirmação da seleção do

Figura 18 - Sequência *Request-Response* para Telecomando baseado em [7]

ponto, o envio da solicitação do comando a ser executado e a resposta de confirmação da execução do mesmo (*SBO-Select Before Operate*). No protocolo Modbus o comando é executado diretamente sem a necessidade de seleção do ponto a ser comandado. O detalhamento dos procedimentos será realizado no capítulo 4.

1) Conversão IEC 60870 - Modbus

Quando da conversão das mensagens IEC 60870 em Modbus e vice-versa os campos que contém informações sobre o endereço da UAC e o código da função a ser realizada são os de maior importância, pois a faixa de valores possíveis para cada um não são compatíveis.

O campo para endereçamento de UACs no protocolo IEC 60870-5 admite os valores de 1 até 65534 quando da utilização de *frames* de tamanho variável e de 1 a 254 quando da utilização de *frames* de tamanho fixo. No protocolo Modbus o mesmo campo admite os valores de 1 até 247. O endereço para envio de mensagens para todas as UAC(global) no protocolo IEC 60870-5 é 65535 para *frames* de tamanho variável e 255 para *frames* de tamanho fixo, enquanto que no protocolo Modbus é 0(zero). Para a implementação de um conversor de protocolos pode-se utilizar as seguintes soluções de conversão:

- a) contruir uma tabela que relacione os endereços IEC 60870-5 com os respectivos endereços Modbus, de acordo com a especificação de cada sistema implementado.
- b) Adotar na estação de controle os endereços iniciais de 1 a 247 como sendo endereços reservados para endereçar UAC Modbus em um sistema específico.

Neste trabalho foi adotada a solução (b), considerando ainda que o conversor de protocolos realiza comunicação com apenas uma UAC, com correspondência direta dos endereços IEC 60870-5 e 1 a 247 para os endereços Modbus de 1 a 247 e a conversão do endereço 255 para 0(zero) realizada pelo conversor de protocolos.

O campo de código de função IEC 50870-5 será mapeado para o campo de função Modbus dentro do conversor de protocolos segundo mostrado nas Tabelas I e II.

O sistema utilizado para funcionar como estação de controle IEC 60870-5 implementa na camada de enlace *frames* de tamanho fixo para as mensagens utilizadas nas funções de inicialização e telecomando. Os códigos de função especificados na Tabela I atendem as especificações para o campo de função existente dentro do campo *Control Field* dos *frames* de tamanho fixo.

Tabela I- Sequência *Request-Responde* para Telecomando

Campos de Função				
Descrição	IEC 60870-5-101	Modbus	Descrição	Sentido
<i>Reset remote link</i>	0	08	<i>Restart Communication</i>	Mestre - escravo
<i>User data</i>	3	-----		Mestre - escravo
<i>Request status of link</i>	9	-----		Mestre - escravo
<i>Request user data class 1</i>	10	-----		Mestre - escravo
<i>Request user data class 2</i>	11	02, 03	<i>Read Input Status, Read Holding Register</i>	Mestre - escravo
<i>Ack</i>	0	-----		Escravo - mestre
<i>Nack: message not accepted</i>	1	-----		Escravo - mestre
<i>User data</i>	8	-----		Escravo - mestre
<i>Nack: request data not available</i>	9	-----		Escravo - mestre
<i>Status of link</i>	11	-----		Escravo-mestre

As repostas ao comando duplo são realizadas através de *frames* de tamanho variável. Neste caso o código da função é colocado no campo *type identification* e seu valor mostrado na Tabela II.

Tabela II - Sequência *Request-Responde* para Telecomando

Campos de Função				
Descrição	IEC 60870-5-101	Modbus	Descrição	Sentido
<i>Double command</i>	46	05	<i>Force single coil</i>	Escravo - mestre

3 - METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO - LINGUAGEM DE MODELAGEM UNIFICADA (UML)

3.1 - Introdução

A construção da UML teve como principais atores Grady Booch, James Rumbaugh e Ivar Jacobson. Em 1997, a UML foi aprovada como padrão pelo OMG (Object Management Group) [11] que é um consórcio internacional de empresas que define e ratifica padrões na área da orientação a objetos.

A UML é uma linguagem visual utilizada para modelar sistemas computacionais por meio do paradigma da Orientação a Objetos [8]. Através dos elementos gráficos definidos nesta linguagem pode-se construir diagramas que representam diversas perspectivas de um sistema. Cada elemento gráfico possui uma sintaxe (isto é, uma forma pré-determinada de desenhar o elemento) e uma semântica que definem o que significa o elemento e para que ele deve ser utilizado. Além disso, tanto a sintaxe quanto a semântica da UML são extensíveis; o que permite que a UML seja adaptada às características específicas de cada projeto de desenvolvimento. [9]

A UML é independente tanto de linguagens de programação quanto de processos de desenvolvimento. Isso quer dizer que a UML pode ser utilizada para a modelagem de sistemas, não importa qual a linguagem de programação será utilizada na implementação do sistema, ou qual a forma (processo) de desenvolvimento adotada [9].

3.2 - Visões de um sistema

O desenvolvimento de um sistema de *software* demanda que seus desenvolvedores tenham a possibilidade de examinar e estudar esse sistema a partir de diversas perspectivas. Os autores da UML sugerem que um sistema pode ser descrito por cinco visões interdependentes desse sistema.[10] As visões propostas são as seguintes:

Visão de Casos de Uso: descreve o sistema de um ponto de vista externo como um conjunto de interações entre o sistema e os agentes externos ao sistema.

Visão de Projeto: enfatiza as características do sistema que dão suporte, tanto estrutural quanto comportamental, às funcionalidades externamente visíveis do sistema.

Visão de Implementação: abrange o gerenciamento de versões do sistema, construídas através do agrupamento de módulos (componentes) e subsistemas.

Visão de Implantação: corresponde à distribuição física do sistema em seus subsistemas e à conexão entre essas partes.

Visão de Processo: esta visão enfatiza as características de concorrência (paralelismo), sincronização e desempenho do sistema.

Dependendo das características e da complexidade do sistema, nem todas as visões precisam ser construídas. [9]

3.3 - Diagramas da UML

Um processo de desenvolvimento que utilize a UML como linguagem de suporte à modelagem envolve a criação de diversos documentos. Esses documentos podem ser textuais ou gráficos.

Figura 19 - Diagramas da UML

Na terminologia da UML, esses documentos são denominados artefatos de *software*, ou simplesmente artefatos. São os artefatos que compõem as visões do sistema. Os artefatos gráficos produzidos durante o desenvolvimento de um sistema de *software* são definidos através da utilização dos diagramas da UML. Os diagramas da UML são mostrados na Figura 19. Os retângulos com os cantos retos representam agrupamentos (tipos) de diagramas da UML. Já os retângulos com os cantos arredondados representam os diagramas propriamente ditos [9].

Cada diagrama da UML analisa o sistema, ou parte dele sob uma determinada ótica, é como o sistema fosse modelado em camadas, sendo que alguns diagramas enfocam o sistema de forma mais geral, apresentando uma visão externa do sistema, enquanto outros oferecem uma visão de uma camada mais profunda do *software*, apresentando um enfoque mais técnico ou ainda visualizando apenas uma característica específica do sistema ou de um determinado processo [8].

3.4 - A UML na Implementação do Conversor de Protocolos

Devido às características particulares dos protocolos de comunicação e sua exatidão nas ações a serem executadas, torna-se suficiente realizar a análise e o projeto do conversor de protocolos baseado apenas nos diagramas de Casos de Uso, Diagramas de Classes e Diagramas de Interação (Seqüência).

3.5 - Modelagem de Casos de Uso

O modelo de casos de uso é uma representação das funcionalidades externamente observáveis do sistema e dos elementos externos ao sistema que interagem com ele. Na verdade, o modelo de casos de uso molda os requisitos funcionais do sistema. Este modelo é bastante importante, pois direciona diversas tarefas posteriores do ciclo de vida do sistema de *software*.

3.5.1 - Modelo de casos de uso

O modelo de casos de uso de um sistema é composto de casos de uso, de atores e de relacionamentos entre estes.

3.5.1.1 - Casos de uso

Um caso de uso é a especificação de uma sequência de interações entre um sistema e os agentes externos que utilizam esse sistema. Um caso de uso deve definir o uso de uma parte da funcionalidade de um sistema, sem revelar a estrutura e o comportamento interno desse sistema. Um caso de uso representa quem faz o que (interage) com o sistema, sem considerar o comportamento interno do sistema [9]. Cada caso de uso deve ser definido através da descrição narrativa das interações que ocorrem entre o(s) elemento(s) externo(s) e o sistema. A UML não define o formato e o grau de abstração a serem utilizados na descrição de um caso de uso. Consequentemente, há vários formatos de descrição propostos na literatura, assim como vários são os graus de abstração utilizados. Os casos de uso são formados por atores, que são elementos externos que interagem com o sistema. A Figura 20 mostra um exemplo.

Figura 20 - Representação de um Caso de Uso

3.6 - Modelagem de Classes de Domínio

Externamente ao sistema, os atores visualizam resultados de produzidos pelo sistema. Internamente, os objetos do sistema colaboram uns com os outros para produzir os resultados visíveis de fora. Essa colaboração pode ser vista sob o aspecto estrutural estático e sob o aspecto dinâmico [9].

O aspecto estrutural estático de uma cooperação permite compreender como o sistema está estruturado internamente para que as funcionalidades externamente visíveis sejam produzidas. Esse aspecto é dito estático porque não apresenta informações sobre como os objetos do sistema interagem no decorrer do tempo. Também é dito estrutural porque a estrutura das classes de objetos e as relações entre elas são repre-

sentadas. Os aspectos estático e dinâmico de um sistema não são independentes. A construção de um serve para adicionar detalhes no outro.

O diagrama da UML utilizado para representar a descrição do aspecto estrutural estático de um sistema orientado a objetos é o diagrama de classes. O modelo de classes é composto do diagrama de classes e da descrição textual associada.

3.6.1 - Modelo de classes

É importante notar que o modelo de classes evolui durante as iterações do desenvolvimento do sistema. À medida que o sistema é desenvolvido, o modelo de classes é incrementado com novos detalhes. Há três níveis sucessivos de abstração pelos quais o modelo de classes passa. Esses níveis são: domínio, especificação e implementação.

O modelo de classes de domínio representa as classes no domínio do problema a ser resolvido. Este modelo é construído na fase de análise. Por definição, um modelo de classes de domínio não leva em consideração restrições inerentes à tecnologia a ser utilizada na solução de um problema.

O modelo de classes de especificação é uma extensão do modelo de classes de domínio. Essa extensão é feita através da adição de detalhes específicos conforme a solução de *software* escolhida. Além disso, nesse nível são definidas novas classes necessárias para desenvolver a solução do problema.

O modelo de especificação é construído na atividade de projeto do desenvolvimento de uma iteração do desenvolvimento.

O modelo de classes de implementação corresponde à implementação das classes em alguma linguagem de programação, normalmente uma linguagem orientada a objetos.

3.6.2 - Diagrama de classes

O diagrama de classe é utilizado na construção do modelo de classes desde o nível de análise até o nível de especificação.

3.6.2.1 - Elementos do diagrama de classes

Uma classe é representada através de uma "caixa" com, no máximo, três compartimentos exibidos. No primeiro compartimento é exibido o nome da classe.

Por convenção, esse nome é apresentado no singular e com as palavras componentes começando por maiúsculas. No segundo compartimento, são declarados os atributos e no terceiro compartimento, são declaradas as operações. As possíveis notações da UML para representar classes são apresentadas na figura abaixo. O grau de abstração desejado em um dado momento do desenvolvimento do modelo de classes direciona a utilização de uma ou outra notação. A Figura 21 mostra as possíveis notações para uma classe UML.

Figura 21 - Notações utilizadas para a representação de classes.

Os atributos correspondem à descrição dos dados armazenados pelos objetos de uma classe. A cada atributo de uma classe está associado um conjunto de valores que esse atributo pode assumir. As operações correspondem à descrição das ações que os objetos de uma classe sabem realizar. Ao contrário dos atributos (para os quais cada objeto tem o seu próprio valor), objetos de uma classe compartilham as mesmas operações. O nome de uma operação normalmente contém um verbo e um complemento, e terminam com um par de parênteses [9].

3.7 - Modelagem de Interações (Diagramas de Sequência)

O modelo de casos de uso nada informa sobre qual deve ser o comportamento interno do sistema para que uma determinada funcionalidade seja realizada. Ou seja, para que um caso de uso seja realizado, produzindo um resultado de valor para o ator, quais são as operações que devem ser executadas internamente ao sistema? A que classes essas operações pertencem? Quais objetos participam da realização deste caso de uso? Essas perguntas não encontram resposta no modelo de casos de uso de um sistema, não importa o quão detalhado esse modelo seja.

O modelo de classes de domínio fornece uma visão estrutural e estática inicial do sistema. No entanto, de que forma os objetos colaboram para que um determinado caso de uso seja realizado? Em que ordem as mensagens são enviadas durante essa realização? Que informações precisam ser enviadas em uma mensagem de um objeto

a outro? Será que há responsabilidades ou mesmo classes que ainda não foram identificadas? O modelo de classes de domínio não responde a essas perguntas.

O objetivo desses modelos é fornecer um entendimento do problema correspondente ao sistema de *software* a ser desenvolvido.

Para responder às questões levantadas nos parágrafos anteriores, o modelo de interações do sistema precisa ser criado. Esse modelo representa as mensagens trocadas entre os objetos para a execução de cenários dos casos de uso do sistema.

Através da construção do modelo de interações, as classes, responsabilidades e colaboradores identificados anteriormente podem ser validados. Esse modelo permite ainda refinar o modelo de classes de domínio, pois as operações de cada classe são identificadas na construção do modelo de interações.

3.7.1 - Interações através de mensagens

O princípio básico da interação entre objetos é o conceito de mensagem. Uma mensagem é uma solicitação de execução de uma operação em outro objeto. Um sistema de *software* orientado a objetos pode ser visto como uma rede de objetos. As funcionalidades desse sistema são realizadas por seus objetos componentes, que só podem interagir através de mensagens [9].

Uma mensagem representa a requisição de um objeto remetente a um objeto receptor para que este último execute alguma operação definida para sua classe. Essa mensagem deve conter informação suficiente para que a operação do objeto receptor possa ser executada [9].

3.7.1.1 - Tipos de mensagens

Os tipos de mensagens definidos pela UML [9] são:

Uma mensagem simples é utilizada quando a natureza da mensagem não é relevante. Esse é o tipo de mensagem mais utilizado na maioria das vezes.

Uma mensagem síncrona indica que o objeto remetente espera que o objeto receptor processe a mensagem antes de recomençar o seu processamento. Ou seja, o remetente fica bloqueado até que o receptor termine de atender à requisição.

Uma mensagem assíncrona é aquela na qual o objeto remetente não espera a resposta para prosseguir com o seu processamento.

3.7.2 - - Sintaxe da UML e especificação de mensagens

Cada mensagem é representada graficamente por uma seta cujo sentido é do objeto remetente para o objeto receptor. As setas possuem rótulos que especificam a mensagem sendo enviada. Dessa forma, esse rótulo pode ser visto como a especificação das informações que são passadas pelo objeto remetente. A Figura 22 mostra um exemplo de diagrama de sequência.

Figura 22 - Construção de um Diagrama de Sequência.

O diagrama de sequência tem como foco principal demonstrar como as mensagens são enviadas entre os objetos ao longo do tempo. Algumas vezes é necessário indicar que uma mensagem só será enviada se atender a uma condição lógica (valor verdadeiro ou falso). Para a representação desta condição a sintaxe a ser seguida para a mensagem é: **[condição]: mensagem()** .

3.8 - Modelagem de Estados

Cada objeto participante de um sistema de *software* orientado a objetos se encontra em um estado particular. Um objeto muda de estado quando acontece algum evento interno ou externo ao sistema. Quando um objeto muda de um estado para outro, diz-se que ele realizou uma transição entre estados. Os estados e as transições de

estado de um objeto constituem o seu ciclo de vida. Quando da sua transição de um estado para outro, um objeto normalmente realiza determinadas ações dentro do sistema. Cada objeto pode passar por um número finito de estados durante a sua vida. Quando um objeto transita de um estado para outro, significa que o sistema no qual ele está inserido também está mudando de estado.

Através da análise das transições entre estados dos objetos de um sistema de *software*, pode-se prever todas as possíveis operações realizadas, em função de eventos que possam ocorrer [9].

O diagrama UML utilizado para realizar essa análise é o diagrama de transição de estados. Esse diagrama permite descrever o ciclo de vida de objetos de uma classe, os eventos que causam a transição de um estado para outro e a realização das operações resultantes. Ele é também utilizado para obter uma visão dinâmica do sistema. No entanto, diferentemente dos diagramas de interação que descrevem o comportamento de objetos de classes diferentes, um diagrama de transição de estados descreve o comportamento de objetos de uma única classe.

Os diagramas de estados são definidos apenas para as classes que possuam um número definido de estados conhecidos, e onde o comportamento das classes de objetos é afetado e modificado pelos diferentes estados. Nessas classes um diagrama de transição de estado pode ser utilizado para enfatizar eventos que resultam em mudanças de estado [9]. A Figura 23 mostra um exemplo de diagrama de transição de estados e seus elementos básicos.

Figura 23 - Elementos de um diagrama de transição de estados.

3.8.1 - Elementos de um Diagrama de transição de estados

Alguns elementos básicos de um diagrama de transição de estados são os estados e as transições. Associados a eles, estão os conceitos de evento, ação e atividade. Pode conter ainda elementos tais como as transações internas, estados aninhados e estados concorrentes.

Estado: uma situação na vida de um objeto durante a qual ele satisfaz alguma condição ou realiza alguma atividade. Cada estado de um objeto é normalmente determinado pelos valores dos seus atributos e (ou) pelas ligações com outros objetos.

Transições: um estado está associado a outro por meio das transições. Uma transição pode ser rotulada com uma expressão descrita por **evento(lista-parâmetros) [guarda] / ação**.

Evento: é algo que acontece em algum ponto no tempo e que pode modificar o estado de um objeto.

Condição de guarda (guarda): é uma expressão de valor lógico. A transição no qual foi definida uma condição de guarda é disparada somente se o evento associado ocorre e a condição de guarda é verdadeira. Se uma condição não tiver condição de guarda, ela sempre será disparada quando o evento ocorrer.

Ação: é uma expressão que pode ser definida em termos dos atributos, operações ou associações de uma classe. Pode corresponder à execução de uma operação. As ações podem ser especificadas para serem executadas em determinados momentos da existência do objeto:

Cláusula “*entry*”, usada para especificar ações a serem realizadas quando o objeto entra em um estado.

Cláusula “*exit*”, usada para especificar ações a serem realizadas quando o objeto sai de um estado.

Cláusula “*do*”, usada para definir alguma atividade quando o objeto passa para um determinado estado. Uma atividade pode ser interrompida, uma ação não.

4 -DESENVOLVIMENTO DAS FUNÇÕES DE CONVERSÃO DOS PROTOCOLOS UTILIZANDO A UML

Para o projeto da implementação das funções de conversão dos protocolos serão utilizados os casos de uso, diagramas de classes de domínio e de especificação, diagramas de sequência e diagramas de estados.

4.1 - Casos de Uso

Serão estudadas as seguintes funções de conversão de protocolos: inicialização do Sistema SCADA (COS), leitura de valores digitais, leitura de valores analógicos, escrita de valores digitais (telecomando). Os casos de uso devem ser implementados considerando como atores um sistema SCADA e uma unidade de aquisição e controle (UAC). Será utilizada a forma de descrição numerada para descrever os casos de uso. Na descrição dos casos de uso o termo IEC 60870 será utilizado para representar o protocolo IEC 60870-5-101.

4.1.1 - Caso de Uso 1: Inicialização

- (1) Sistema SCADA envia mensagem no formato IEC 60870 ao conversor, solicitando o status do link de comunicação.
- (2) a) Se link OK! conversor responde com mensagem de link OK!. Segue para o passo (3).
b) Se link não OK! Conversor responde com NACK. Retorna ao passo (1).
obs: Sempre que O Sistema SCADA ou UAC inicia comunicação com o conversor e não houver sucesso haverá uma mensagem de NACK (por isto este aspecto será omitido na continuação do texto)
- (3) Sistema SCADA envia mensagem no formato IEC 60870 ao conversor, solicitando o reset do link de comunicação.
- (4) Conversor envia para a UAC mensagem no formato Modbus solicitando a reinicialização da porta de comunicação serial.
- (5) UAC envia para o conversor mensagem no formato Modbus, com a informação de que a porta de comunicação foi reinicializada.
- (6) a) Se passo (5) OK! conversor responde para o Sistema SCADA com mensagem de link OK no formato IEC 60870. Segue para o passo (7).

- b) Se passo (5) não OK! Conversor responde para o sistema SCADA com mensagem NACK. Retorna ao passo (1).
- (7) Sistema SCADA envia mensagem no formato IEC 60870 ao conversor, solicitando os dados de classe 1 (dados de transmissão espontânea).
- (8) Conversor responde com mensagem indicando nenhum dado a transmitir.
- (9) Sistema SCADA envia mensagem no formato IEC 60870 ao conversor, solicitando os dados de classe 2 (dado de transmissão cíclica).
- (10) Conversor responde com mensagem indicando nenhum dado a transmitir.
- (11) Sistema SCADA está inicializado e entra em processo de interrogação geral.

No caso dos passos (7) e (9) do caso de uso acima, o conversor deve responder que não possui dados a transmitir, pois uma UAC Modbus não implementa dados organizados em classes e não é possível a transmissão espontânea de dados.

4.1.2 - Caso de Uso 2: Leitura de Entradas Digitais

- (1) Sistema SCADA envia mensagem em formato IEC 60870 ao conversor, solicitando a leitura de entradas digitais.
- (2) Conversor converte mensagem no formato IEC 60870 para o formato Modbus.
- (3) Conversor envia para UAC mensagem no formato Modbus solicitando a leitura de entradas digitais.
- (4) UAC envia para o conversor mensagem no formato Modbus, com a informação solicitada.
- (5) Conversor converte as informações recebidas para o formato IEC 60870.
- (6) Conversor envia para o Sistema SCADA mensagem no formato IEC 60870 contendo as informações sobre entradas digitais.

4.1.3 - Caso de Uso 3: Leitura de Entradas Analógicas

- (1) Sistema SCADA envia mensagem em formato IEC 60870 ao conversor, solicitando a leitura de entradas analógicas.

- (2) Conversor converte mensagem no formato IEC 60870 para o formato Modbus.
- (3) Conversor envia para UAC mensagem no formato Modbus solicitando a leitura de entradas analógicas.
- (4) UAC envia para o conversor mensagem no formato Modbus, com a informação solicitada.
- (5) Conversor converte as informações recebidas para o formato IEC 60870.
- (1) Conversor envia para o Sistema SCADA mensagem no formato IEC 60870 contendo as informações sobre entradas analógicas.

4.1.4 - Caso de Uso 4: Escrita de Valor Digital (Telecomando)

- (1) Sistema SCADA envia mensagem em formato IEC 60870 ao conversor, selecionando ponto a receber o comando ON/OFF.
- (2) Conversor responde com ACK.
- (3) Sistema SCADA envia mensagem solicitando dados de classe 1 ou 2 em formato IEC 870.
- (4) Conversor envia para o Sistema SCADA mensagem no formato IEC 60870 confirmando a seleção do ponto.
- (5) Se ocorrer a desistência de efetuar o comando (break off) Sistema SCADA envia para conversor mensagem correspondente. Senão segue para o passo (9).
- (6) Conversor responde com um ACK.
- (7) Sistema SCADA envia mensagem solicitando dados de classe 1 ou 2 em formato IEC 870.
- (8) Conversor envia para o Sistema SCADA mensagem no formato IEC 60870 confirmando a desistência de efetuar comando.
- (9) Sistema SCADA envia mensagem em formato IEC 60870 ao conversor, para execução do comando selecionado anteriormente.
- (10) Conversor responde com ACK.
- (11) Sistema SCADA envia mensagem solicitando dados de classe 1 ou 2 em formato IEC 870.
- (12) Conversor converte mensagem no formato IEC 60870 para o formato Modbus.

- (13) Conversor envia para UAC mensagem no formato Modbus, para a execução do comando.
- (14) UAC envia mensagem para o conversor no formato Modbus, com a confirmação da execução do comando.
- (15) Conversor converte as informações recebidas para o formato IEC 60870.
- (16) Conversor envia para o Sistema SCADA mensagem no formato IEC 60870, com a confirmação da execução do comando.
- (17) Sistema SCADA envia mensagem solicitando dados de classe 1 ou 2 em formato IEC 60870.
- (18) Conversor responde com mensagem de término da execução do comando.

4.1.5 - Diagrama de Casos de Uso do Conversor de Protocolos.

A Figura 24 mostra de forma visual os casos de uso que foram definidos para a implementação da conversão de protocolos.

Figura 24 - Casos de Uso Estudados

4.2 - Modelos de Classes do Conversor de Protocolos

4.2.1 - Modelo de Classes de Domínio

No modelo de classes de domínio, são especificados as classes e o relacionamento entre elas, buscando representar o funcionamento do sistema.

Os nomes dados as classes de domínio e seu significado são explicados abaixo:

R_FRM_IEC: recebimento de *frames* IEC.

E_FRM_IEC: envio de *frames* IEC.

T_FRM_IEC: tratamento de *frames* IEC.

CV_INIC: conversão de formatos para inicialização.

CV_LD: conversão de formatos para leitura de dados digitais.

CV_LA: conversão de formatos para leitura de dados analógicos.

CV_TC: conversão de formatos para telecomando.

E_MSG_MOD: envio de mensagens Modbus.

R_MSG_MOD: recebimento de mensagens Modbus.

A notação 1...1 (multiplicidade) indica uma associação binária entre as classes, ou seja, a instância de uma classe estará associada a somente uma instância da outra classe. A Figura 25 mostra as classes de domínio para a implementação dos quatro casos de uso 1 e 2 citados no item 4.1.

Figura 25 - Classes de domínio da implementação dos casos de uso 1 e 2

A figura 26 mostra as classes de domínio para a implementação dos quatro casos de uso 3 e 4 citados no item 4.1.

Figura 26 - Classes de domínio da implementação dos casos de uso 3 e 4

4.2.2 - Modelo de Classes de Especificação

Neste modelo precisamos definir para cada uma das classes de domínio especificadas, os atributos de cada classe (por exemplo: endereço da UTR, função realizada, quantidade de dados transmitidos, valor da detecção de erros) e as operações de cada classe (por exemplo: cálculo de *checksum*, conversão de formatos, etc.). Os três compartimentos que representam uma classe de especificação contém respectivamente: o nome da classe, seus atributos e suas operações (métodos).

A Figura 27 mostra as seis classes envolvidas na inicialização do centro de controle(Sistema SCADA) .

Figura 27 - Classes envolvidas na inicialização do centro de controle

A Figura 28 mostra as seis classes envolvidas na conversão de uma solicitação de leitura de entradas digitais entre o protocolo IEC 60870 e o protocolo Modbus.

Figura 28 - Classes envolvidas na solicitação de leitura de entradas digitais

A Figura 29 mostra as seis classes envolvidas na conversão de uma solicitação de leitura de entradas analógicas entre o protocolo IEC 60870 e o protocolo Modbus.

Figura 29 - Classes envolvidas na solicitação de leitura de entradas analógicas

A Figura 30 mostra as seis classes envolvidas na conversão da solicitação de um telecomando entre o protocolo IEC 60870 e o protocolo Modbus.

Figura 30 - Classes envolvidas na solicitação de telecomando

4.3 - Diagramas de Sequência dos Casos de Uso

No desenvolvimento deste trabalho foi dada ênfase a implementação das funções de inicialização e telecomando. Estas duas funções são das funções estudadas as que apresentam o maior número de mensagens trocadas entre o centro de controle, conversor de protocolos e a UAC. Para uma maior clareza; na representação das trocas de mensagens nos diagramas de sequência, não são mostrados os atores participantes dos casos de 1 (inicialização) e do caso de uso 4 (telecomando). A Figura 31 mostra o diagrama de sequência relativo a inicialização do Sistema SCADA (caso de uso 1). Nele estão representados os objetos que interagem para a realização desta tarefa.

Figura 31 - Diagrama de sequência para o caso de uso 1 (inicialização)

A Figura 32 mostra o diagrama de sequência relativo a telecomando (caso de uso 4). Nele estão representados os objetos que interagem para a realização desta tarefa.

Figura 32 - Diagrama de sequência para o caso de uso 4 (telecomando)

Os diagramas de sequência permitem a visualização das interações entre os objetos que se relacionam para a realização de um caso de uso. Para a compreensão das atividades e dos estados assumidos por cada objeto, é necessária a análise individual de cada um deles, sendo o diagrama de estados a ferramenta mais adequada para esse fim.

4.4 - Diagramas de Estado

Nos diagramas de estado temos a representação dos estados que uma classe instanciada (objeto) pode assumir. Seguindo o que foi adotado no item 4.3 serão mostrados apenas os diagramas de estado das classes que participam dos casos de uso 1 (inicialização) e 4 (telecomando). Desta forma a Figura 33 mostra os estados da classe R_FRM_IEC participante do caso de uso 1. Nas Figuras 34, 35 e 36 temos os diagrama de estados das E_FRM_IEC, E_MSG_MOD e R_MSG_MOD também participantes do caso de uso 1.

Figura 33 - Diagrama de estados da classe R_FRM_IEC

Figura 34 - Diagrama de estados da classe E_FRM_IEC

Figura 35 - Diagrama de estados da classe E_MSG_MOD

Figura 36 - Diagrama de estados da classe R_MSG_MOD

Ainda para o caso de uso 1 temos a participação da classe CV_INIC responsável pela conversão de formato IEC para Modbus na inicialização e sendo o seu diagrama de estados mostrado na Figura 37.

Figura 37 - Diagrama de estados da classe CV_INIC

Para o caso de uso 4 temos a participação da classe CV_TC responsável pela conversão de formato IEC para Modbus na execução de um telecomando e sendo o seu diagrama de estados mostrado na Figura 38.

Figura 38 - Diagrama de estados da classe CV_TC

A classe T_FRM_IEC tem participação em todos os casos de uso. Para uma melhor visualização dos estados envolvidos em cada um deles, os seus diagramas de estado serão mostrados considerando apenas os estados envolvidos em cada um dos casos de uso. Portanto as Figuras 39, 40 e 41 mostram os estados desta classe envolvidos na inicialização, na função de seleção de um ponto a ser comandado e na função de execução do comando no ponto selecionado.

Figura 39 - Diagrama de estados da classe T_FRM_IEC na inicialização

Figura 40 - Diagrama de estados da classe T_FRM_IEC na seleção de ponto

Figura 41 - Diagrama de estados da classe T_FRM_IEC na execução de comando

Na fase de análise utilizando a UML procuramos definir de forma clara as necessidades do sistema a ser implementado. Na fase de projeto podem surgir; por características da linguagem de programação utilizada; novas classes necessárias à implementação do software.

5 -TESTES

Com o objetivo de avaliar as vantagens e desvantagens do desenvolvimento de funções de um conversor de protocolos para a área de automação elétrica baseado na utilização da UML e do paradigma de programação orientada a objetos, foi utilizada uma configuração de computadores PC interligados conforme indicado na Figura 45.

Figura 42 - Configuração de Hardware para testes da implementação.

No microcomputador 1 foi instalado o sistema operacional Windows XP e rodando sob ele o software de supervisão e controle ActionView. Este software foi configurado para implementar a comunicação com uma UAC utilizando o protocolo IEC 60870-101 e endereçando a UAC de endereço 1. A comunicação era realizada através da porta COM1 que estava configurada para trabalhar com 8 bits de dados, paridade par, 1 stop bit e velocidade de 9600 bps.

No microcomputador 3 foi instalado o sistema operacional Windows 98 e rodando sob ele, em uma janela DOS, o programa mbsim. O programa mbsim simula um slave do protocolo MODBUS localizado no endereço 01. A comunicação era realizada em modo RTU através da porta COM1 que estava configurada para trabalhar com 8 bits de dados, paridade par, 1 stop bit e velocidade de 9600 bps.

No microcomputador 2 foi instalado o sistema operacional Windows 98 e rodando sob ele, em uma janela DOS, o programa do conversor de protocolos, desenvolvido na linguagem Turbo C++. Para se obter características semelhantes a um sistema multitarefa, todas as funções referentes à comunicação através das portas seriais, foram implementadas por meio de interrupção. As duas portas de comunicação serial COM1 e COM2 estavam configuradas para trabalhar com 8 bits de dados, paridade par, 1 stop bit e velocidade de 9600 bps.

No capítulo 4, com o objetivo de realizar o estudo proposto, foram especificadas dentre todas as funções previstas na funcionalidade dos protocolos IEC 60870 e Modbus, as funções de inicialização, leitura de valores digitais, leitura de valores analógicos, e escrita de valor digital (telecomando).

Para geração do código utilizado pelo conversor de protocolos nos testes de comunicação entre Sistema SCADA/Conversor/UAC, foram utilizadas apenas duas das funções estudadas: inicialização e escrita de valor digital (telecomando). Esta escolha deve-se ao fato destas duas funções necessitarem de um maior número de troca de mensagens entre Sistema SCADA/Conversor/UAC.

Para a implementação destas duas funções, foi necessário implementar no conversor de protocolos funções para responder as solicitações cíclicas de dados classe 1 e 2 que são realizadas pelo Sistema SCADA após a inicialização. Se estas funções não fossem implementadas, o Sistema SCADA entenderia que o link de comunicação com a UAC estava inativo, iniciando assim uma nova sequência de inicialização..

As dificuldades iniciais encontradas foram com relação ao tipo de *frame* utilizado pelo ActionView, já que a especificação da norma IEC 60870-5-101 permite a utilização de *frames* de tamanho fixo e variável, sendo a escolha do tipo utilizado particular para cada sistema.

Após a implementação correta do tipo de *frame* utilizado foi possível realizar uma sequência completa de inicialização, solicitação cíclica de dados classe 1 e 2 e telecomando, retornando a solicitação cíclica de dados classe 1 e 2.

Nas Tabelas III, V e VI são apresentadas as mensagens que foram trocadas entre o ActionView o conversor de protocolos e o simulador Modbus. Elas foram montadas em uma estrutura de grade com a especificação de cada campo dos *frames* IEC e mensagens Modbus, permitindo assim a visualização da composição de cada uma das funções realizadas. A Tabela III mostra a sequência de mensagens para a inicialização. A Tabela IV descreve a sequência de mensagens para seleção de um ponto a ser comandado e a Tabela VI a sequência para execução do comando. A Tabela V descreve cada um dos campos existentes nas mensagens e *frames*.

Tabela IV - Sequência de Mensagens para *Select*

Mestre																	Conversor		Escravo			
Select →	IN	L	L	IN	CF	LA	TI	VQ	CT	ASDU		OBJ		SCO	CK	FI	← Ack					
	68	0A	0A	68	53	01	46	01	06	00	01	00	01	80	23	16						
Request Data Class 2 →	IN	CF	LA	CK	FI																	
	10	00	01	01	16																	
	IN	CF	LA	CK	FI																	
	10	5B	01	5C	16																	
	IN	L	L	IN	CF	LA	TI	VQ	CT	ASDU		OBJ		SCO	CK	FI						
	68	0A	0A	68	08	01	46	01	07	00	01	00	01	80	D9	16	← Select Confirmation					

Tabela V - Legenda dos Campos das Mensagens IEC e Modbus

Identificação dos Campos das Mensagens					
IEC 60870-5-101			Modbus		
IN	Caractere de início		UA	Endereço da UAC	
L	Comprimento do frame		FU	Código da função	
CF	<i>Control Field</i>		SH	<i>Subfunction Hi</i>	
LA	<i>Link Address</i>		SL	<i>Subfunction Lo</i>	
TI	<i>Type Identification</i>		DH	<i>Data Hi</i>	
VQ	<i>Variable Structure Qualifier</i>		DL	<i>Data Lo</i>	
CT	<i>Cause of Transmission</i>		EH	<i>Error Check Hi</i>	
ASDU	<i>Application Service Data Unit</i>		EL	<i>Error Check Lo</i>	
OBJ	<i>Information Object Address</i>		CH	<i>Coil Address Hi</i>	
SCO	Qualificação do comando		CL	<i>Coil Address Lo</i>	
CK	<i>Cheksum</i>		FH	<i>Force Data Hi</i>	
FI	Caractere de fim		FL	<i>Force Data Lo</i>	

6 - CONCLUSÃO

A utilização da UML como ferramenta para a análise, projeto e desenvolvimento, mostrou-se eficiente para o aumento gradativo do conhecimento sobre o sistema objeto deste estudo. Por outro lado nota-se um aumento substancial no tempo de desenvolvimento, isso graças a grande quantidade de documentos que acabam sendo gerados para uma adequada representação do sistema. Com a utilização de uma ferramenta de software, o Rational Rose, para a criação e manutenção dos diagramas UML, adicionamos características de segurança e integridade aos nomes de classes, atributos e operações, evitando assim duplicidade de definições e facilidade de uso quando da criação dos demais diagramas de especificação do sistema.

Alterações que foram surgindo com o desenvolvimento do sistema e que necessitavam serem implementadas nos diagramas criados foram realizadas de forma bastante simples e rápida, com a propagação automática destas alterações para os demais diagramas. A padronização semântica e sintática da UML reduz o tempo para se conhecer e entender o funcionamento de um sistema especificado.

A principal vantagem a ser considerada é quando da implementação de um novo conversor de protocolos, com a troca de um dos protocolos especificados. Temos uma redução no tempo de desenvolvimento, pois serão redefinidas parte das classes já especificadas e uma parcela do software.

Este trabalho limitou-se a implementar apenas duas funções existentes no protocolo IEC 60870-5-101, realizando a comunicação de um sistema Scada com apenas uma UAC. Para futuro pode-se procurar implementar um número maior de funções e realizar a comunicação com mais de uma UAC, sendo necessária a utilização de uma linguagem de programação orientada a objetos, que possa ser executada em um ambiente multitarefa real e ainda com possibilidade de utilização de *threads*..

Com relação às classes criadas, elas podem ser implementadas a partir de uma superclasse que contenha os atributos dos *frames* dos protocolos envolvidos, mas que sejam derivadas por herança em classes mais especializadas, responsáveis pelo tratamento individual de cada função utilizada pelo conversor de protocolos.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **JARDINI, J.A.**; Automação de usinas, subestações e distribuições de energia. Edição acadêmica, São Paulo, 1996.
- [2] **MOTOROLA**, Modbus Protocol Reference Guide, MODICON, North Andover, 1993.
- [3] **IEC 60870-5-3**, Telecontrol Equipment Systems - Part 5: Transmission Protocols - Section 3: General Structure of application data, IEC, 1992.
- [4] **IEC 60870-5-1**, Telecontrol Equipment Systems - Part 5: Transmission Protocols - Section 1: Transmission frame formats, IEC, 1990.
- [5] **IEC 60870-5-101**, Telecontrol Equipment Systems - Part 5: Transmission Protocols - Section 101: Companion standard for basic telecontrol tasks, IEC, 1995.
- [6] **IEC 60870-5-4**, Telecontrol Equipment Systems - Part 5: Transmission Protocols - Section 4: Definition and coding of application information elements IEC, 1993.
- [7] **IEC 60870-5-5**, Telecontrol Equipment Systems - Part 5: Transmission Protocols - Section 5: Basic Application functions IEC, 1995.
- [8] **GILLEANES T.A.G.**, UML - Uma Abordagem Prática. Novatec, São Paulo, 2004.
- [9] **BEZERRA, E.**, Princípios de Análise e Projeto de Sistemas com UML. CAMPUS, Rio de Janeiro, 2003.
- [10] **BOOCH, G., RUMBAUGH, J. e JACOBSON, I.**, UML – Guia do Usuário. CAMPUS, Rio de Janeiro, 2000.
- [11] **OMG, Object Management Group**, Resource Page, 2005. Disponível em www.omg.org. Acesso em: 2 jun. 2005.
- [12] **IEC 60870-5-2**, Telecontrol Equipment Systems - Part 5: Transmission Protocols - Section 2: Link Transmission Procedures, IEC, 1992.
- [12] **IEC 60870-1-1**, Telecontrol Equipment Systems - Part 1: General Considerations - Section 1: General Principles, IEC, 1984.

ANEXO 1 - Dicionário de Dados

Nome	Tipo	Formato	Caso de Uso	Descrição
CV_INIC	Classe	---	1	Realiza a conversão de solicitação de inicialização do formato IEC 60870-5-101 para o formato Modbus
CV_LA	Classe	---	3	Realiza a conversão de solicitação de leitura de dados analógicos do formato IEC 60870-5-101 para o formato Modbus
CV_LD	Classe	---	2	Realiza a conversão de solicitação de leitura de dados digitais do formato IEC 60870-5-101 para o formato Modbus
CV_TC	Classe	---	4	Realiza a conversão de solicitação de telecomando <i>select before operate</i> do formato IEC 60870-5-101 para o formato Modbus (<i>force single coil</i>)
E_FRM_IEC	Classe	---	1,2,3,4	Realiza a montagem, o cálculo do <i>Cheksum</i> e envio de <i>frames</i> IEC 60870-5-101 para o sistema Scada
E_MSG_MOD	Classe	---	1,2,3,4	Realiza a montagem, o cálculo do <i>Chkerro</i> e envio de mensagens Modbus para a UAC
R_FRM_IEC	Classe	---	1,2,3,4	Realiza a recepção de <i>frames</i> IEC 60870-5-101 provenientes do sistema Scada e a verificação do seu <i>Chksum</i> .
R_MSG_MOD	Classe	---	1,2,3,4	Realiza a recepção de mensagens modbus provenientes da UAC e a verificação do seu <i>Chkerro</i> .
T_FRM_IEC	Classe	---	1,2,3,4	Trata da montagem de <i>frames</i> IEC 60870-5-101 e converte respostas Modbus para IEC
Asdu	Atributo	Carray[]	1,2,3,4	Estrutura de campos de uma ASDU (formato IEC 60870-5-101)
Campo CF	Atributo	Byte	1,2,3,4	Informações sobre o sentido da mensagem, tipo de serviço e controle de perda ou duplicação de mensagens de <i>frames</i> IEC 60870-5-101 trocados entre o sistema Scada e o conversor de protocolos.
Comando	Atributo	Unsigned int	4	Estado do telecomando <i>select before operate</i> IEC 60870-5-101(On/Off).
Dados	Atributo	Unsigned int	1	Valores para indicar limpeza ou não do log de eventos na UAC.
EndIni	Atributo	Unsigned int	2,3	Endereço inicial dos pontos a serem lidos na UAC.
EndLnk	Atributo	Byte	1,2,3,4	Endereço IEC 60870-5-101da UAC.
EndPonto	Atributo	Unsigned int	4	Endereço do ponto a ser telecomandado
Endutr	Atributo	Byte	1,2,3,4	Endereço Modbus da UAC.
Função	Atributo	Byte	1,2,3,4	Código da função Modbus

Informação	Atributo	CArray[QtdInf]	2,3	Informação solicitada
Lpdu	Atributo	Carray[]	1,2,3,4	Estrutura do <i>frame</i> IEC 60870-5-101
Msg	Atributo	Carray[]	1,2,3,4	Estrutura da mensagem Modbus
NumPts	Atributo	Unsigned int	2,3	Quantidades de pontos a serem lidos na UAC (formato Modbus)
QtdInf	Atributo	Byte	2,3	Quantidade de bytes com informação provenientes da UAC (formato Modbus)
Subfunção	Atributo	Unsigned int	1	Código da Sub_função de diagnóstico para resetar porta de comunicação na UAC.
Cchkerro	Método	---	1,2,3,4	Calcula o Chkero de mensagem Modbus recebida/a enviar da/para a UAC
CChksum	Método	---	1,2,3,4	Calcula o Chksum do <i>frame</i> IEC 60870-5-101 recebido/a enviar do/para sistema Scada
Cv_RLaIec	Método	---	3	Converte dados analógicos do formato Modbus provenientes da UAC para o formato IEC 60870-5-101 destinados ao sistema Scada
Cv_RLdIec	Método	---	2	Converte dados digitais do formato Modbus provenientes da UAC para do formato IEC 60870-5-101 destinados ao sistema Scada
Cv_RstLnkIec	Método	---	1	Converte <i>reset</i> da porta de comunicação da UAC (função modbus) proveniente da UAC em <i>reset</i> de <i>link</i> IEC 60870-5-101 destinado ao sistema Scada
Cv_TcIec	Método	---	4	Converte resposta a telecomando <i>force single coil</i> Modbus proveniente da UAC para telecomando <i>select before operate</i> IEC 60870-5-101 destinado ao sistema Scada
CvLaMod	Método	---	3	Converte solicitação de leitura de dados analógicos do formato IEC 60870-5-101 para o formato Modbus (função <i>read holding registers</i>)
CvLdMod	Método	---	2	Converte solicitação de leitura de dados digitais do formato IEC 60870-5-101 para o formato Modbus (função <i>read input status</i>)
CvRstLnkMod	Método	---	1	Converte <i>reset</i> de <i>link</i> IEC 60870-5-101 em <i>reset</i> de porta de comunicação da UAC (função Modbus)
CvTcMod	Método	---	4	Converte solicitação de telecomando <i>select before operate</i> do formato IEC 60870-5-101 para o formato Modbus (função <i>force single coil</i>)
Det_FuncIec	Método	---	1,2,3,4	Determina qual a função IEC 60870-5-101 solicitada para o conversor
Dmt_Frm	Método	---	1,2,3,4	Desmonta <i>frame</i> IEC 60870-5-101 proveniente do sistema Scada
Dmt_Msg	Método	---	1,2,3,4	Desmonta mensagem Modbus proveniente da UAC
Ebytei	Método	---	1,2,3,4	Envia <i>byte a byte</i> um <i>frame</i> IEC 60870-5-101
Ebytem	Método	---	1,2,3,4	Envia <i>byte a byte</i> uma mensagem Modbus para a UAC
Mnt_Frm	Método	---	1,2,3,4	Monta <i>frame</i> IEC 60870-5-101 a enviar para o sistema Scada

Mnt_Msg	Método	---	1,2,3,4	Monta mensagem Modbus a enviar para a UAC
Mnt_RAck	Método	---	1,4	Monta <i>frame</i> com confirmação a enviar para o sistema Scada
Mnt_RDtClas1	Método	---	1	Monta <i>frame</i> com dados de Classe 1 IEC 60870-5-101 a enviar para o sistema Scada
Mnt_RdtClas2	Método	---	1,2,3	Monta <i>frame</i> com dados Classe 2 IEC 60870-5-101 a enviar para o sistema Scada
Mnt_RNack	Método	---	1,4	Monta <i>frame</i> com informação de dados não disponíveis a enviar para o sistema Scada
Mnt_RStsLnk	Método	---	1	Monta <i>frame</i> com resposta de <i>status</i> do <i>link</i> a enviar para o sistema Scada
Mnt_RTc	Método	---	4	Monta <i>frame</i> com resposta a telecomando a enviar para o sistema Scada
NACK	Método	---	1,2,3,4	Monta resposta de mensagem não aceita a enviar para o sistema Scada
Rbytei	Método	---	1,2,3,4	Trata recepção <i>byte a byte</i> de <i>frame</i> IEC 60870-5-101 proveniente do sistema Scada
Rbytem	Método	---	1,2,3,4	Trata recepção <i>byte a byte</i> de mensagem Modbus
T_Sel_Exec	Método	---	4	Trata sequencia de <i>select/execute</i> IEC 60870-5-101
T_Timeout	Método	---	1,2,3,4	Trata <i>timeout</i> de recepção Modbus