

Tiago César Busatta
REIVAX Automação e Controle
tcb@reivax.com.br

Carlos Matias Billo
REIVAX Automação e Controle
cmb@reivax.com.br

Daniel Maurício Kamers
REIVAX Automação e Controle
dmk@reivax.com.br

Gabriel Aurélio de Oliveira
REIVAX Automação e Controle
gao@reivax.com.br

Gilvan Tessari
REIVAX Automação e Controle
gt@reivax.com.br

João Marcos Castro Soares
REIVAX Automação e Controle
jms@reivax.com.br

Rodrigo Mussatto
REIVAX Automação e Controle
rm@reivax.com.br

Abstract — The present work shows a project of a Fault Recorder System. This project is part of a bigger context, that is the modernization of a hydroelectric power plant. For this reason, the specification of the recorder system took into account the integration with the new equipment to be installed, sharing resources and using compatible technologies. The technologies used are communication through TCP/IP network over optic fiber, GPS-based time synchronism, record storage concentrated in a database, and communication with a supervisory system. Complement to these technologies is the use, in the recorder, of a real time operating system and function block based programming (IEC 61131-3 [2]).

I. INTRODUÇÃO

As tecnologias utilizadas atualmente no desenvolvimento de equipamentos eletrônicos estão aumentando cada vez mais sua capacidade, seus recursos e sua flexibilidade. Deseja-se que estas tecnologias sejam utilizadas para criar ou tornar um equipamento moderno e flexível de modo a atender as especificações do cliente e possibilitar a sua integração com equipamentos já existentes.

Baseando-se nesse princípio, a REIVAX Automação e Controle realizou o projeto de um Sistema de Registro de Perturbações. Este projeto faz parte da automação da Usina Hidrelétrica Paraibuna, que engloba também a modernização de reguladores de velocidade e automatização dos processos relacionados ao controle das unidades geradoras.

II. ARQUITETURA DO SISTEMA

Na Figura 1 pode ser visto como foi estruturado o Sistema de Registro de Perturbações.

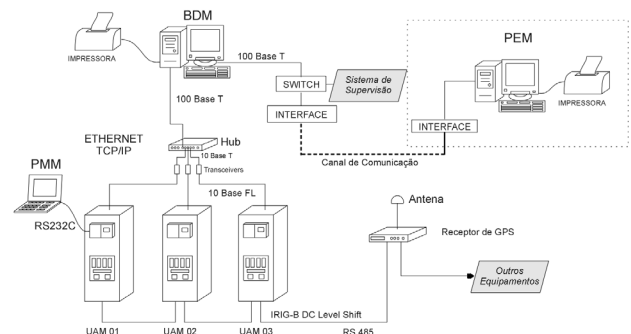


Figura 1 - Arquitetura do Sistema

Os itens em cinza representam as interconexões do sistema com outros subsistemas da usina. O sistema é composto por três Unidades de Aquisição e Monitoração (UAM), que fazem a monitoração e o registro das grandezas de duas unidades geradoras e de uma subestação presentes na usina. Os registros são armazenados localmente nas UAMs e repassados posteriormente à Base de Dados de Monitoração (BDM) através de rede TCP/IP.

A BDM permite consulta, visualização e classificação dos registros armazenados. O estado do Sistema de Registro de Perturbações pode ser monitorado através do sistema de supervisão da usina via interface de rede. O acesso remoto à base de dados de registros pode ser realizado pelo Posto de Engenharia de Manutenção (PEM).

Para realizar a manutenção das UAMs existe o Posto Móvel de Manutenção (PMM). Através dele é possível acessar diretamente as UAMs, permitindo programação, diagnóstico e retirada manual de registros.

Os componentes do sistema serão detalhados nos itens a seguir.

III. UNIDADE DE AQUISIÇÃO E MONITORAÇÃO

A função da UAM é realizar a aquisição, monitoração e registro de grandezas mecânicas e elétricas relacionadas à geração de energia. Ela grava registros dos sinais adquiridos quando satisfeita uma condição programada (disparo ou *trigger*).

A UAM recebe os sinais de medição de campo (115 V / 5 A para grandezas analógicas, 48 V para sinais digitais) que são condicionados e interligados a duas placas de aquisição. Cada uma das placas de aquisição possui 16 entradas analógicas com aquisição simultânea e 24 entradas digitais, sendo que as duas primeiras digitais podem ser configuradas para captura de eventos (medição de período/frequência).

O processamento é realizado por uma CPU Pentium 233 MHz em uma placa industrial de tamanho reduzido (*half-size*). A comunicação da CPU com as placas de aquisição é feita através de um barramento PC/104. Ainda, conectada à CPU através de um barramento ISA (*backplane* passivo), existe uma placa de rede *ethernet* para comunicação em TCP/IP.

Para programação local, a UAM disponibiliza uma porta RS232 (conexão TCP/IP). Para visualização local, há uma Interface Homem-Máquina (IHM) com display LCD e teclado numérico de membrana. Para acesso aos registros em caso de falhas na rede de comunicação existe uma unidade de disquete.

O sincronismo de tempo é realizado por uma entrada TTL na placa de aquisição que recebe um sinal *IRIG-B DC Level Shift* fornecido por um receptor de GPS externo.

A UAM possui memória persistente de modo que os registros não são apagados quando a unidade é desligada, permitindo também operação, por um tempo, desconectada da rede de comunicação. A Figura 2 complementa o descrito.

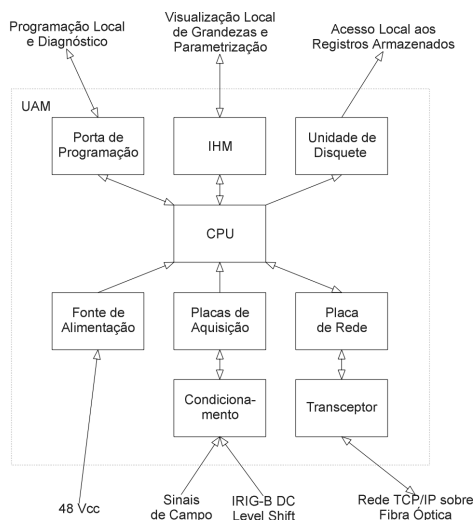


Figura 2 - Esquema da Unidade de Aquisição e Monitoração

O software da UAM é baseado num RTOS (Sistema Operacional de Tempo Real) preemptivo, denominado Software Básico Embarcado (SBE), e é o responsável pela execução das aplicações programadas pelo usuário no ambiente de desenvolvimento. Suas principais características são:

- Execução em modo protegido, 32 bits, em plataforma de hardware x86 ou compatível;
- Suporte à multitarefa, permitindo o uso de tarefas cíclicas para execução de mais de um programa, tornando possível assim, a otimização de uso da CPU e a criação de registradores com mais de um intervalo de amostragem.
- Desempenho para aplicações de tempo real;
- Conectividade em rede TCP/IP;
- Execução de aplicações (algoritmos) baseados na interconexão de blocos;
- Biblioteca com mais de 150 tipos de blocos funcionais;
- Suporte a monitoração de sinais, visualização e edição de parâmetros em tempo de execução;
- Registro de sinais através de lógica de disparo pré programada;
- Gerenciamento dos arquivos presentes nos discos do módulo;
- Cadastro de usuários, senhas e permissões de acesso;
- Suporte para interface com IHMs locais e remotas;
- Drivers para protocolos de comunicação padrão da indústria;
- Flexibilidade de adaptação e uso periféricos de entrada/saída através de drivers de dispositivo;

A programação da UAM é feita através do embarque de um conjunto de arquivos de configuração denominado Programa Aplicativo, que é editado e compilado no Sistema de Edição de Configurações (SEC). O embarque pode ser realizado localmente através da porta de programação ou remotamente através da rede TCP/IP.

IV. REDE DE COMUNICAÇÃO

A Figura 3 mostra a topologia da rede de comunicação do sistema.

Existem duas redes de comunicação: a primeira interliga as Unidades de Aquisição e Monitoração à Base de Dados de Monitoração e a segunda interliga a Base de Dados de Monitoração à rede corporativa, onde está conectado o sistema de supervisão.

Devido ao ambiente ser, em termos de interferência eletromagnética, bastante ruidoso na primeira rede, optou-se pela utilização de fibra óptica como meio físico de transporte. A conversão do sinal de rede elétrico para óptico é realizado através de um transceptor (*transceiver*) localizado em cada UAM. Saindo do transceptor, a fibra

óptica percorre a usina até chegar a outro transceptor, que converte o sinal óptico para elétrico a fim de permitir conexão com um *hub*. No *hub* também está conectado a BDM.

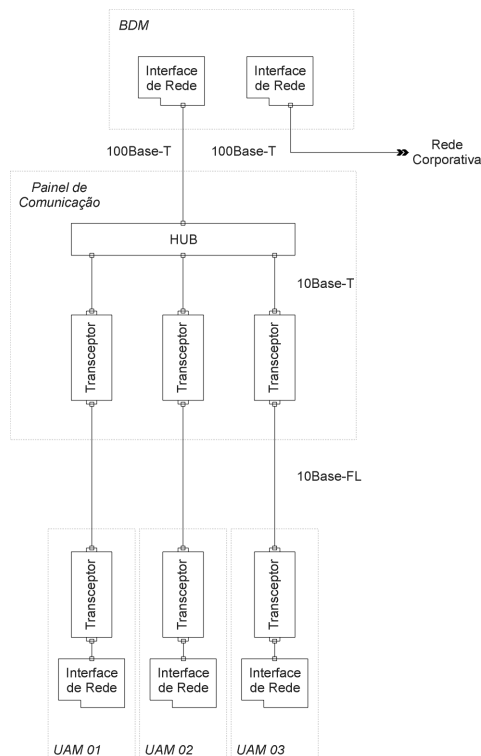


Figura 3 - Topologia da Rede

Os dados da segunda rede trafegam em par trançado. Não houve necessidade de uso de fibra óptica, pois as distâncias envolvidas eram menores e o ambiente mais isolado em termos de interferência eletromagnética. Também usou-se par trançado na conexão da BDM com o *hub*.

V. REDE DE SINCRONISMO

Para que os registros oriundos das diversas unidades possam ser correlacionados no tempo, é necessário que as unidades estejam sincronizadas, e que a estampa de tempo seja armazenada juntamente com o registro. É importante observar que podem existir desvios de frequência nos osciladores que geram os pulsos de amostragem de cada unidade, e portanto, para registros de longa duração, podem ocorrer erros de sincronismo dentro do registro se a estampa de tempo não for armazenada para cada um dos pontos adquiridos. O oscilador utilizado para gerar as amostragens da placa de aquisição possui uma estabilidade de $\pm 100\text{PPM}$. Assim, para um registro de 100s, uma UAM pode desviar até 10ms, podendo provocar um desvio de até

20ms entre duas unidades, o que representa mais de um ciclo de 60Hz.

A estratégia de armazenamento de uma estampa de tempo para cada ponto adquirido gera um volume muito grande de dados, tornando-se inconveniente. Uma alternativa é armazenar somente uma estampa de tempo de referência, sendo o tempo de aquisição de cada ponto calculado como um múltiplo do intervalo de amostragem. O fator multiplicador é determinado pela posição sequencial do ponto dentro do arquivo. Esta estratégia só pode ser aplicada se os osciladores das diversas UAMs estiverem sintonizados.

Para manter os osciladores sintonizados, com um desvio de frequência em patamares aceitáveis, foi implementado um sistema PLL (*Phase Locked Loop*) para sincronização e sintonização do oscilador local, usando como entrada de referência o sinal IRIG-B oriundo da rede de sincronismo. O sistema foi integrado no circuito FPGA das placas de aquisição, sendo responsável pela decodificação do sinal IRIG-B e pela sintonização dos pulsos de amostragem que disparam a conversão A/D das duas placas de aquisição. Para não haver variações excessivas no período dos pulsos de amostragem, foram implementadas proteções contra perda ou ruídos no sinal IRIG-B, bem como limitações na taxa de correção da frequência.

Na Figura 1 é apresentado o diagrama da rede de sincronismo.

Como fonte de sincronismo para o sistema é utilizado um único receptor de GPS que, entre outros sinais, disponibiliza uma saída *IRIG-B DC Level Shift*, em nível TTL. Este sinal é convertido para nível diferencial (EIA485) para ser transportado até as UAMs. Esta conversão é necessária para atenuar as interferências eletromagnéticas durante o transporte do sinal. O sinal é convertido novamente para nível TTL logo ao entrar em cada UAM. O receptor de GPS também é responsável pelo sincronismo dos demais subsistemas da usina.

No arquivo de registro, além da informação de tempo, é armazenado o desvio, medido em segundos. O desvio dá uma idéia de quão precisa está a estampa de tempo. Quando a UAM está sincronizada esse desvio pode chegar à ordem de 3 μs , possibilitando que as aquisições em cada unidade sejam praticamente simultâneas.

VI. BASE DE DADOS DE MONITORAÇÃO

A concentração de registros na BDM eleva a praticidade do sistema, facilitando a análise de perturbações (faltas) que ocorrem na geração de energia.

Os itens a seguir descrevem o conjunto de programas presentes na BDM.

Sistema Operacional

A BDM opera sob o Windows 2000 Server.

Base de Dados

A BDM possui um banco de dados Oracle 8i, onde são armazenados os registros dos sinais adquiridos. Nas tabelas são gravados os arquivos de registro (forma binária *BLOB - Binary Large Object*) e os itens presentes em seu cabeçalho (o intuito é facilitar a pesquisa). O modelo da base de dados é mostrado na Figura 4.

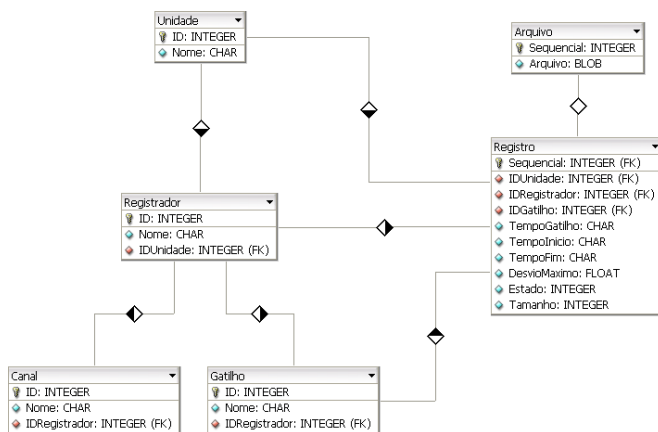


Figura 4 - Modelo da Base de Dados

A tabela **Unidade** refere-se às UAMs. Cada unidade possui um conjunto de registradores (tabela **Registradores**). A programação de um registrador é representada pelos sinais registrados (tabela **Canal**) e pelos eventos que podem disparar seu armazenamento (tabela **Gatilho**).

A tabela **Registro** contém o cabeçalho de todos os arquivos de registro gerados pelas UAMs. Neste cabeçalho estão representados a UAM que gerou o registro, qual o registro gerado, qual a condição que disparou seu armazenamento, as referências de tempo, seu estado (o registro pode ser classificado) e seu tamanho.

Os sinais adquiridos podem ser obtidos na tabela **Arquivo**. Essa tabela foi criada com o intuito de otimizar o desempenho do acesso às outras tabelas, deixando a pesquisa mais rápida (a tabela **Arquivo** só é consultada quando houver necessidade de abrir o registro no Sistema de Visualização de Registros - SVC).

Software de Coleta de Registros

Cada UAM gera e armazena os arquivos de registro localmente. Os registros podem ser disponibilizados através da rede TCP/IP ou unidade de disquete. A UAM possui um servidor de arquivos de registro, deixando os

mesmos disponíveis para serem copiados e apagados conforme desejado.

Quem realiza a cópia e posterior remoção dos arquivos de registro da UAM é o Software de Coleta de Registros (SCR). Veja na Figura 5 a janela principal do programa.

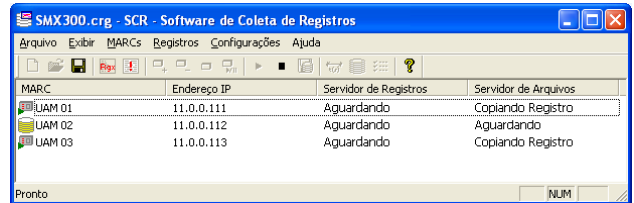


Figura 5 - Software de Coleta de Registros

O SCR é executado automaticamente na inicialização da BDM e faz varredura periódica nas UAMs por novos registros a serem armazenados na base de dados. Sua janela principal mostra o estado da coleta de registros, estado esse que é disponibilizado através do protocolo DDE para o Sistema de Supervisão da usina.

A coleta exercida pelo SCR é feita de maneira segura, observando os seguintes princípios:

- um registro só é removido da UAM se houver certeza que o mesmo está armazenado na base de dados;
- caso haja algum erro na comunicação, o SCR periodicamente tenta restabelecê-la;
- caso haja algum erro grave e irreversível na operação de coleta de registros de uma UAM, a coleta é interrompida somente nesta UAM, as restantes continuam em operação normal. Uma mensagem de erro é lançada e o sistema de supervisão da usina é notificado;
- a operação de coleta ocorre em multitarefa, a demora na coleta de um registro em uma UAM não interfere na coleta em outra UAM.

Sistema de Consulta de Registros

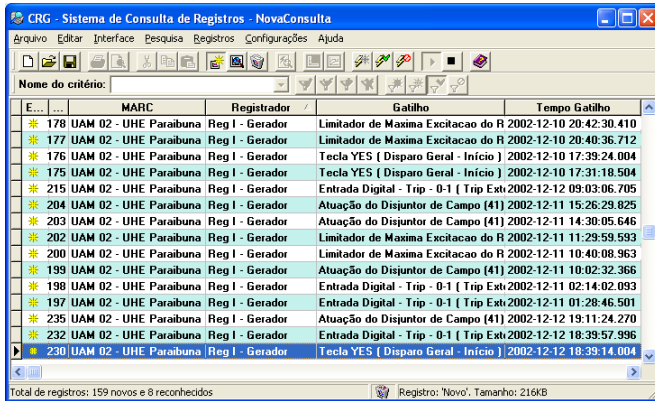
O Sistema de Consulta de Registros (CRG) é responsável pela interface entre a base de dados e o usuário. Veja a Figura 6.

Esse sistema é composto por três interfaces, que são descritas nos parágrafos a seguir.

A primeira interface é a de reconhecimento de registros. Essa interface baseia-se no princípio que todos os registros que “chegam” na base de dados através do Software de Coleta podem ou não ser válidos (ou importantes), e devem ser classificados pelo usuário. A interface mostra todos os registros novos e reconhecidos e permite mudar o estado dos registros de **Novo** para **Reconhecido**, **Válido** e **Inválido**.

Novo é o estado que o registro assume quando é gravado na base de dados pelo SCR. O usuário pode

mudar o estado para **Reconhecido**, indicando ter ciência que o registro chegou. Mudar o estado para **Válido** ou **Inválido** indica que o registro já foi analisado quanto à sua utilidade.



E...	MARC	Registrador	Gatilho	Tempo Gatilho
178	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Limitador de Maxima Excitacao do R	2002-12-10 20:42:30.410
177	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Limitador de Maxima Excitacao do R	2002-12-10 20:40:36.712
176	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Tecla YES (Disparo Geral - Inicio)	2002-12-10 17:39:24.004
175	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Tecla YES (Disparo Geral - Inicio)	2002-12-10 17:31:18.504
215	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Entrada Digital - Trip - 0-1 (Trip Ext)	2002-12-12 09:03:06.705
204	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Atuacao do Disjuntor de Campo (41)	2002-12-11 15:26:29.825
203	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Atuacao do Disjuntor de Campo (41)	2002-12-11 14:30:05.646
202	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Limitador de Maxima Excitacao do R	2002-12-11 11:29:59.593
200	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Limitador de Maxima Excitacao do R	2002-12-11 10:40:08.963
199	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Atuacao do Disjuntor de Campo (41)	2002-12-11 10:02:32.366
198	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Entrada Digital - Trip - 0-1 (Trip Ext)	2002-12-11 02:14:02.093
197	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Entrada Digital - Trip - 0-1 (Trip Ext)	2002-12-11 01:28:46.501
235	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Atuacao do Disjuntor de Campo (41)	2002-12-12 19:11:24.270
232	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Entrada Digital - Trip - 0-1 (Trip Ext)	2002-12-12 18:39:57.996
230	UAM 02 - UHE Paraibuna	Reg I - Gerador	Tecla YES (Disparo Geral - Inicio)	2002-12-12 18:39:14.004

Figura 6 - Sistema de Consulta de Registros

A segunda interface permite a pesquisa na base de dados. A intenção desta interface é permitir a pesquisa nos registros válidos, mas pode ser configurada para ser feita nos registros novos, reconhecidos e inválidos. Os seguintes itens podem ser incluídos na pesquisa:

- número seqüencial do registro;
- UAM;
- registrador ou canal;
- gatilho;
- tempo do evento de gatilho;
- tempo do registro;
- tamanho do arquivo.

A terceira interface mostra os registros inválidos (é uma espécie de lixeira).

Em qualquer uma das três interfaces é possível mudar o estado do registro. Em qualquer uma das interfaces também é possível invocar o Sistema de Visualização de Curvas para visualização do registro.

Sistema de Visualização de Curvas

O Sistema de Visualização de Curvas (SVC) é disparado automaticamente pelo Sistema de Consulta de Registros quando há a necessidade de visualização de um registro. Veja a Figura 7, que mostra a janela principal do SVC.

O SVC é um programa que permite, além da visualização dos sinais armazenados nos registros, seu processamento, que pode ser realizado através de operações aritméticas e filtros.

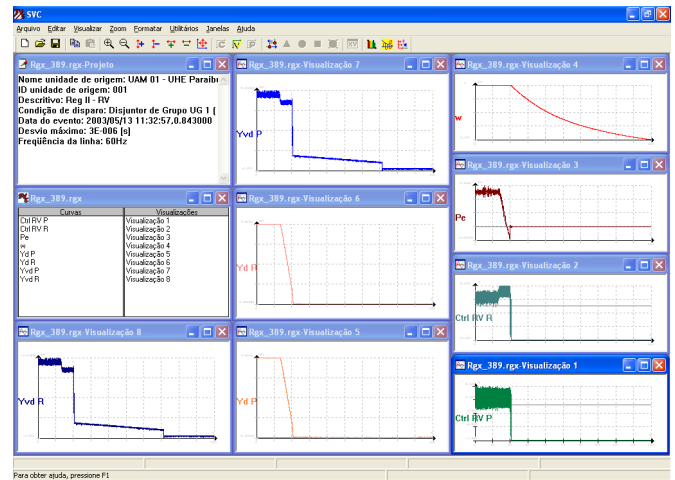


Figura 7 - Sistema de Visualização de Curvas

Programação das UAMs

A programação das UAMs é realizada por um conjunto de programas nos quais se destaca o Sistema de Edição de Configurações (SEC) e o Configurador do SBE.

O SEC permite a geração dos arquivos de configuração da programação de cada unidade. Em parte, essa programação pode ser realizada através de diagrama de blocos (IEC 61131-3 [2]), incluído a transdução de valores e a lógica de disparo (gatilho) dos registros. A configuração dos registros pode ser feita de acordo com o padrão COMTRADE [1].

Para o envio dos arquivos de configuração para cada UAM, é utilizado o Configurador do SBE. Através dele também é possível acessar localmente a fila de registros de cada Unidade. O envio da programação é realizado através da rede TCP/IP.

VII. POSTO DE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

O PEM permite a operação remota do sistema. Essa operação pode ficar restrita ao acesso à base de dados da BDM ou, se a rede for configurada para permitir, acesso direto às UAMs.

O PEM possui, com exceção da base de dados Oracle, os mesmos programas instalados na BDM.

VIII. POSTO MÓVEL DE MANUTENÇÃO

O PMM destina-se à manutenção do sistema. É um notebook que possui, com exceção da base de dados Oracle, os mesmos programas instalados na BDM.

Em caso de pane na BDM ou na rede de comunicação, o PMM pode ser utilizado para acessar os registros nas UAMs. Além disso, com o PMM pode-se realizar a programação das Unidades diretamente através da porta de programação.



Project of a Fault Recorder System with Database Storage integrated through TCP/IP Network

IX. CONCLUSÕES

O sistema apresentado possibilita registros e análise relativos às condições de operação da usina, envolvendo as condições operativas antes, durante e após as perturbações. Abrange perturbações transitórias (curto-circuito ou falta), de longa duração (oscilação de potência, rejeição de carga) ou indicativas da dinâmica e desempenho (grandezas intrínsecas ao sistema de regulação de geradores, estado operativo da proteção, valores de corrente e tensão, etc.).

A conectividade do sistema permite agilidade na análise dos distúrbios, pois os registros encontram-se concentrados, podendo ser acessados localmente ou remotamente, contando com as facilidades de consulta do banco de dados relacional.

A flexibilidade oferecida pelas ferramentas de programação permite que o usuário desenvolva melhorias no programa aplicativo das UAMs, visando adaptar-se às necessidades de monitoração que possam surgir ao longo da operação do sistema.

X. BIBLIOGRAFIA

[1] *IEEE International Standard Common Format for Transient Data Exchange - COMTRADE*. IEEE Power Engineering Society, October, 1991.

[2] *IEC1131 International Standard - Programmable Controllers*. IEC - International Electrotechnical Commission. 1st. ed., 1993