



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPC - 10
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

SISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA A INTEGRAÇÃO DA SUPERVISÃO, CONTROLE E PROTEÇÃO

**João Saad Jr * Paulo Stein Raul B. Sollero Ubiratan A. do Carmo Luiz Carlos de Pádua W. F.
CEPEL FPLF CEPEL CHESF CHESF**

RESUMO

O presente trabalho descreve as características básicas de hardware e software, e o estágio de desenvolvimento do Sistema de Aquisição e Processamento de Dados para a Integração da Supervisão, Controle e Proteção (SADISP) desenvolvido pelo CEPEL na carteira de projetos ANEEL da CHESF. Trata-se de um sistema com hardware comercial padrão e que se caracteriza por adquirir os sinais de uma subestação de transmissão uma única vez, distribuindo-os por unidades de processamento de dados que realizam diferentes funções a partir destes sinais, de forma a integrar funções típicas de supervisão, controle e proteção de sistemas elétricos em um único equipamento.

PALAVRAS-CHAVE

Integração, Digitalização, Supervisão, Controle, Automação.

1.0 - INTRODUÇÃO

O controle e proteção do processo elétrico em subestações de geração e transmissão caracteriza-se pela utilização de vários sinais de campo, como os provenientes de TPs e TCs, para distintos equipamentos responsáveis, cada qual, a uma função própria. Assim, é freqüente um sinal de um TP de linha usado por uma remota também ser conectado a um registrador de perturbações, assim como a vários relés de proteção. Outras funções típicas em SEs de transmissão que também são candidatas a receberem o mesmo sinal, ainda que de forma menos freqüente, são as desempenhadas por registradores de perturbação de longa duração, processadores de esquemas de controle de emergência, automação de processos, monitores para qualimetria, etc. Também sinais de estado e de comandos podem ser sujeitos ao encaminhamento para várias entradas (ou saídas) de distintos equipamentos.

Observa-se a partir deste paralelismo de aquisições que um mesmo sinal é condicionado (protegido, isolado e filtrado) e digitalizado em cada equipamento que o adquire, para a posterior utilização do mesmo. A partir desta constatação surge a idéia de adquirir-se estes sinais uma única vez e transmiti-los digitalmente via rede de comunicação a processadores destinados à execução das funções dos equipamentos "stand-alone" convencionais, constituindo-se em um sistema onde as funções de supervisão, controle e proteção, dentre outras, possam ser realizadas de forma integrada em um único sistema de processamento. Note-se que o conceito de integração inerente a esta proposta diz respeito ao compartilhamento dos dados primários obtidos do processo e disseminados para os diversos processadores de um mesmo sistema. Este conceito difere do conceito de integração atualmente praticado, que se caracteriza pela troca de informações pós-processadas (secundárias)

* Av 1, S/N, Cidade Universitária - CEP 21941-590 - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
Tel.: (021) 25986397 - Fax: (021) 22606211 - e-mail: jsaad@cepel.br

entre distintos sistemas digitais independentes (1), onde o objetivo concentra-se no compartilhamento de dados do controle supervísório, havendo pouca ou nenhuma troca de dados primários (formas de onda analógicas) entre equipamentos. Exemplo deste tipo de integração é o compartilhamento de dados de sistemas de proteção para sistemas supervísórios e de telecomando (2).

A arquitetura adequada para o sistema integrado vislumbrado pelo CEPEL é a baseada em padrão VME onde cartões de entrada e saída de dados comunicam-se com cartões de processamento por meio de um barramento paralelo de alta velocidade. A aquisição de sinais analógicos e digitais, assim como a exteriorização de comandos para o processo, são realizados através dos cartões de aquisição, e os processadores são microcomputadores em um único cartão (*single board computers*). Este tipo de arquitetura é utilizada em processos onde se necessita adquirir uma massa de dados que deve ser processada por unidades de processamento (CPUs) independentes, sendo encontrada em aplicações de controle industrial e militar. Outra vantagem natural de se adotar uma arquitetura baseada em padrão de hardware é a facilidade de manutenção e de evolução tecnológica face à diversidade de opções em modelos e marcas, tanto para a substituição de cartões quanto para a posterior ampliação do sistema.

Assim sendo, o CEPEL empreendeu o desenvolvimento de um sistema de aquisição e processamento de dados para a integração da supervisão, controle e proteção (projeto SADISP) baseado nas premissas descritas, posteriormente incorporado pela CHESF na sua carteira de projetos de P&D ANEEL.

O projeto SADISP apresenta uma concepção aberta não apenas no hardware, mas também em software, acompanhando tendência mundial dos sistemas modernos de automação e proteção em subestações. Neste sentido, o SADISP permite que novos aplicativos sejam desenvolvidos e integrados facilmente ao sistema, adaptando-o às necessidades individuais de cada cliente. O desenvolvedor do software tem acesso a uma Interface de Programação de Aplicativos (API) através da qual é possível acessar os dados amostrados diretamente do processo, realizar o tratamento e processamento dos mesmos e gerar saídas de comando com um mínimo de esforço computacional por parte dos aplicativos. A utilização de regras de programação bem definidas permite que aplicativos distintos coexistam em uma única plataforma de hardware, tornando possível a integração de diversos produtos em um só sistema.

2.0 - DESCRIÇÃO DO SADISP

O SADISP é composto por uma ou mais ilhas de processamento, cada qual constituída por um bastidor com barramento *multimaster* padrão VME onde se conectam cartões de entradas e saídas analógicas e digitais, e placas de CPU, além de um ou mais dispositivos de comunicação (saídas de rede, modem, etc.).

Os dispositivos de comunicação permitem a interligação do sistema com o operador local ou com o nível hierárquico superior. A comunicação com equipamentos externos, como relés de proteção, equipamentos de medição e supervisão ou mesmo outras ilhas de processamento, prevista para uma etapa posterior, também deverá utilizar estes dispositivos. A comunicação interna da ilha responsável pela transferência dos dados primários do processo é realizada via barramento paralelo *multimaster* (VME) através do uso de memória compartilhada. Adicionalmente o sistema conta com uma rede local entre as CPUs para a troca de arquivos mais extensos assim como para a comunicação entre sistemas. A Figura 1 mostra a representação de uma ilha de processamento típica, na qual também observa-se o subsistema de condicionamento necessário ao ajuste dos sinais do processo aos níveis característicos dos módulos de aquisição de dados.

Cada ilha possui uma CPU, denominada *Master*, responsável pelo processamento inicial dos dados de entrada, tratamento dos dados de saída, e sincronismo do sistema como um todo. Isso permite que as transferências realizadas entre CPUs ocorram de forma controlada, independentemente de uma eventual sobrecarga de processamento.

Nas demais CPUs do sistema são executados os aplicativos, tais como oscilografia, intertravamento, transdução, seqüenciamento de eventos, automatismos, geração de relatórios para o pessoal de operação e manutenção, entre outros. O número de CPUs necessárias para executar um determinado conjunto de aplicativos depende dos recursos exigidos pelos mesmos, seja em função de poder de processamento, seja em relação à quantidade de memória ou aos tempos de resposta requeridos.

2.1 Etapa de condicionamento

O condicionamento tem o propósito de isolar e adequar os sinais de campo aos níveis próprios das placas de entradas e saídas de sinais. Assim como o restante do sistema, o projeto do condicionamento também teve a modularidade como um princípio básico, visando facilitar a montagem de sistemas de acordo com as

necessidades. Desta forma optou-se por módulos padronizados apropriados ao trilho DIN TS 35, largamente usados em painéis industriais, dando-se preferência ao emprego de hardware comercialmente disponível. Nesta linha foram empregados blocos de aferição, optoacopladores para as entradas digitais, relés de comando para as saídas digitais, módulos de ligação entre cabos, e fontes de alimentação (5V, 12V e 24V) para atender as necessidades internas da etapa de condicionamento. Foram desenvolvidos pelo CEPEL os módulos de transformadores, de filtragem, o gerador de sincronismo e os módulos concentradores, brevemente descritos adiante. O projeto mecânico do painel procurou otimizar a compatibilidade eletromagnética com o processo através de cuidados como a blindagem de cabos sensíveis, roteamento dos cabos de campo e cabos de sinais internos através de canaletas segregadas, posicionamento dos módulos visando a redução do comprimento dos cabos em geral e evitando proximidade de módulos incompatíveis, além do emprego de gabinete com blindagem eletromagnética para a ilha de processamento.

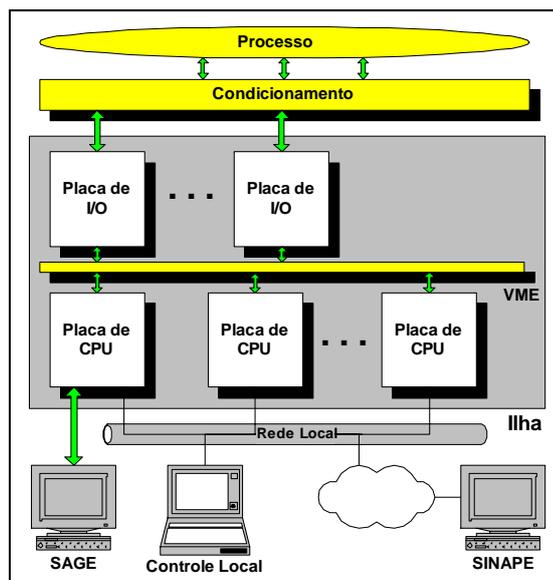


FIGURA 1 - Ilha de processamento do SADISP.

2.1.1 Módulo de transformadores

Os módulos para entradas de tensão e corrente são baseados em dois transformadores toroidais de tensão e de corrente respectivamente, adequados às especificações tanto para medição quanto para registro de perturbações. Para tanto os transformadores de corrente foram projetados para uma faixa de frequências de 3Hz a 2 KHz e boa reprodução de uma corrente de falta de até 100A com componente exponencial de corrente contínua com constante de tempo de até 30ms.

2.1.2 Módulo de filtragem

Estes módulos de filtro *anti-aliasing* são necessários para a digitalização dos sinais analógicos sem distorção. São oito filtros ativos por módulo, com transferência Butterworth de sexta ordem e frequência de corte de 1200 Hz (-1dB), também adequados para registro de perturbações.

2.1.3 Módulos concentradores

Estes módulos têm a função de concentrar sinais provenientes dos filtros, optoacopladores ou relés de comando, interligando-os aos cabos multivias que se conectam aos cartões de entrada e saída na ilha de processamento, que normalmente apresentam grande capacidade de sinais por cabo/conector. Foi desenvolvido um módulo básico apropriado à concentração de sinais analógicos ou digitais de entrada ou saída, configurável por componentes e *jumpers* de acordo com as necessidades de cada tipo de sinal e dos cartões utilizados, o que permitiu a redução do número de circuitos impressos necessários ao condicionamento.

2.1.4 Módulo de sincronismo

Tem a função de gerar os sinais de sincronismo para a CPU de controle e para os cartões de conversão analógico/digital.

2.2 A Ilha de Processamento

A Ilha de Processamento do protótipo de campo do SADISP é composta por:

- 1 gabinete de 19" com barramento interno VME para 21 cartões de tamanho 6U, dispendo de fonte de 750W e blindagem eletromagnética para proteção dos cartões internos;
- 3 CPUs do tipo *single board computer* para barramento VME, utilizando processador PIII de 1,26GHz resfriado por *cooler* passivo (visando alta confiabilidade);
- 2 placas de entradas analógicas com 16 canais cada, com *sample-and-hold* e conversores de 16 bits independentes por canal para amostragem simultânea dos sinais de tensão e corrente, facilitando o cálculo de potência;
- 2 placas de 32 entradas e 32 saídas digitais cada, para as entradas de estado e saídas de comando.

Atualmente cada CPU dispõe de um cartão com memória de massa (floppy e HD) para fins de desenvolvimento. Entretanto, na configuração definitiva os HDs serão substituídos por memória flash de forma a não haver peças móveis. Emprega-se, também, uma rede local para a comunicação entre CPUs para a transferência de arquivos entre as mesmas ou entre estas e um computador externo, onde podem ser executados os configuradores das funções do SADISP ou um programa de controle local. Este computador externo também poderá ser utilizado no armazenamento dos arquivos gerados pela função de registro de perturbações, bem como na análise posterior dos mesmos através do SINAPE (Sistema Integrado de Análise de Perturbações do CEPEL) (3) .

3.0 - O SOFTWARE DO SADISP

3.1 Sistema Operacional

O SADISP é executado sob um sistema operacional de tempo real (SOTR) multitarefa compatível com o padrão POSIX. Nesta fase do projeto está sendo utilizado o Linux com extensão de tempo real (RT-Linux). O Linux é um sistema operacional amplamente utilizado em universidades e instituições científicas por ser estável, gratuito e fornecer acesso ao seu código fonte, permitindo seu estudo, modificação e aperfeiçoamento por terceiros. O RT-Linux é instalado como uma extensão do Linux, adicionando ao mesmo a capacidade de criação, controle e execução de tarefas em tempo real.

Enquanto as tarefas em tempo real são executadas no espaço *kernel*, mesmo espaço de atuação do sistema operacional, os aplicativos que rodam sob o Linux propriamente dito são executados no espaço usuário, possuindo restrições no acesso ao hardware e aos demais recursos do sistema.

Enquanto a aquisição dos dados e o gerenciamento geral do sistema é realizado por tasks com requisitos do tipo hard real-time, (executadas, portanto, por intermédio de módulos do sistema operacional), os programas aplicativos, por possuírem requisitos de tempo real mais brandos (soft real time), são executados através de processos do Linux, sendo atendidos por intermédio de funções definidas no padrão POSIX.1b (extensão do POSIX que define um conjunto de funções a serem utilizadas em sistemas de tempo real). Tais funções são chamadas indiretamente pelas rotinas da API do sistema.

Deve ser observado que cada CPU possui seu próprio sistema operacional, sendo a troca de dados e mensagens entre CPUs gerenciada pelo SADISP. Além de se obter um sistema menos dependente do SO utilizado, tal procedimento possibilita o controle total sobre o tráfego de dados no barramento, necessário à obtenção de um sistema totalmente determinístico.

3.2 O Kernel do SADISP

O software do SADISP foi criado com o intuito de simplificar o desenvolvimento e a manutenção dos programas aplicativos a serem executados. Dentre as facilidades oferecidas pelo sistema, podem-se citar:

- aquisição dos dados em tempo real;

- comunicação entre aplicativos presentes em uma ou mais placas do sistema, e entre aplicativos e o sistema em geral, de forma determinística;
- saída, temporização, e verificação periódica de comandos;
- geração de *logs* (para funções como seqüência de eventos, por exemplo);
- interfaceamento com o banco de dados do sistema e propagação das modificações realizadas para as demais placas do sistema;
- monitoramento dos programas aplicativos presentes;
- manutenção da hora global do sistema.

Estas funções estão disponíveis aos programas aplicativos pelo uso de uma biblioteca própria, que contém o conjunto de funções que formam a API do sistema.

O SADISP pode lidar com os seguintes tipos de pontos:

- a) Pontos digitais – Utilizados para grandezas que podem ser representadas através de 2 únicos valores, 0 (OFF) e 1 (ON). Servem para indicar estados de equipamentos como disjuntores e chaves seccionadoras, estados de relés de proteção, situações de alarme, entre outros. Os pontos digitais podem ou não ser associados a canais de entradas digitais. Um ponto cujo valor não é fornecido por canais de aquisição é chamado de *ponto calculado*, sendo seu valor fornecido pelos próprios programas aplicativos.
- b) Pontos analógicos - representam quantidades e grandezas inteiras do sistema, sendo formados por palavras de 16 bits, normalmente oriundas das placas de conversão analógico-digital. A exemplo dos pontos digitais, um ponto analógico pode não estar associado a canais de aquisição de dados. Cada ponto analógico possui fatores de multiplicação e de *offset* associados, que servem para o cálculo do valor real de sua grandeza.
- c) Pontos do tipo *float* - correspondem a grandezas representadas por números reais. Os pontos do tipo float não são associados a canais de aquisição de dados, servindo para o armazenamento de valores calculados pelos próprios programas aplicativos. Este tipo de ponto pode ser utilizado, por exemplo, para armazenar os valores de tensão e corrente RMS calculados por um aplicativo de transdução presente no sistema.
- d) Bitstrings - armazenam dados que não se enquadram nos tipos descritos acima. São representados por números inteiros de 32 bits, cujo significado é dado pelos próprios programas aplicativos que os utilizam. A exemplo dos pontos float, os pontos do tipo bitstring não são associados a canais de aquisição de dados, sendo seu valor fornecido pelos próprios programas aplicativos.

Com relação aos pontos adquiridos diretamente do processo elétrico, o SADISP permite a definição dos seguintes tipos: pontos digitais simples (formados por um canal digital apenas), pontos digitais duplos (formados por 2 canais de entradas complementares), pontos analógicos com aquisição digital (formado por um conjunto de canais digitais), pontos analógicos AC (provenientes de TP's e TC's), e pontos analógicos DC (provenientes de transdutores).

Da mesma forma que os canais de entrada são abstraídos em pontos do sistema, os canais de saída são controlados por intermédio de pontos de saída, os quais podem englobar um ou mais destes canais. Dentre os pontos de saída proporcionados pelo sistema estão os pontos de saída simples, formados por um único canal de saída digital; os pontos de saída duplos, formados por dois canais de saída digital, utilizados na geração de comandos do tipo *abertura/fechamento*; os pontos de saída do tipo *set-point*, formados por um conjunto de canais digitais que, juntos, formam uma palavra de saída; e os pontos de saída analógicos, que comandam os canais analógicos das placas de saída.

Ao gerar um comando, o aplicativo informa ao sistema o ponto a ser comandado e a ação a ser realizada. Questões como permissão de acesso, duração de pulso, e verificação da saída gerada são gerenciadas diretamente pelo SADISP.

Saídas digitais do tipo *check-before-operate* podem ser obtidas através de saídas digitais compostas por saídas de controle e saídas de ativação. Enquanto as saídas de controle representam a saída final desejada, as saídas de ativação operam como habilitadoras destas, liberando ou bloqueando a saída final. A cada comando gerado, os canais de saída podem ser lidos por intermédio de placas de entradas digitais. Ao ser verificada uma inconsistência entre os valores escritos e os valores lidos, as saídas envolvidas são identificadas e assinaladas com erro, passando a ficar desabilitadas.

O SADISP realiza a aquisição de dados analógicos e digitais a uma taxa de amostragem de 4800 Hz, de forma a atender à função de registro de perturbações. Esta taxa de amostragem pode ser alterada em função de outros fatores como velocidades de processamento e transferência e do número de canais usados, devendo, entretanto, atender às necessidades das funções executadas nas ilhas de processamento.

Os dados adquiridos são disponibilizados para os programas aplicativos através de *filas de aquisição de dados*, as quais podem conter a hora da aquisição do grupo de dados adquirido, bem como os valores e estados dos pontos analógicos e digitais provenientes do processo elétrico.

O SADISP permite a troca de mensagens entre programas aplicativos independentemente da CPU na qual estes se encontram. Cada aplicativo possui uma fila onde são armazenadas as mensagens destinadas a ele. A cada mensagem é associado um tipo, especificado no momento de sua geração. Durante a leitura de sua fila, o aplicativo especifica qual(is) o(s) tipo(s) de mensagem(ns) desejada(s), permitindo que mensagens mais urgentes sejam lidas e tratadas antes das demais. As mensagens destinadas a outras CPUs são armazenadas em filas de envio até o momento de serem transferidas. Cada fila de envio possui uma prioridade própria, permitindo, assim, que mensagens mais prioritárias sejam enviadas antes das demais, mesmo que geradas posteriormente.

A comunicação entre o núcleo do SADISP e os programas aplicativos se dá por intermédio de mensagens com formatos e tipos próprios, denominadas mensagens do sistema. Dentre as mensagens que podem ser geradas automaticamente para os aplicativos estão as mensagens de *log*, que informam sobre toda e qualquer ocorrência verificada no sistema, e as mensagens de modificação de dados, que informam sobre modificações nos valores e estados do(s) ponto(s) monitorado(s).

Os programas aplicativos podem especificar que o sistema os avise quando da ocorrência de algum evento. Um evento pode ser a modificação do valor ou estado de um ponto, um comando gerado para uma determinada saída, a indicação de término de uma aquisição, ou, ainda, o preenchimento completo de uma fila de aquisição de dados. As ações possíveis quando da ocorrência de um evento são o disparo da aquisição de uma ou mais filas de aquisição de dados, a sinalização do aplicativo interessado, ou ainda, no caso de modificações dos pontos do sistema, a geração de uma mensagem de modificação de dados.

Uma vez que a maioria das CPUs do sistema não dispõe, a princípio, de dispositivos de saída (monitores, impressoras, etc.), seus aplicativos podem se utilizar das mensagens de *log* para registrar ocorrências verificadas durante sua operação. Os registros de *log* gerados são adicionados aos demais *logs* do sistema, sendo disponibilizados aos demais aplicativos por intermédio das mensagens de *log*.

Em cada uma das CPUs é executado um programa responsável pelo disparo e posterior monitoramento dos aplicativos presentes. Caso seja verificada alguma irregularidade com relação a um destes aplicativos, tal programa poderá reiniciar o aplicativo defeituoso, informando posteriormente ao sistema sobre a irregularidade ocorrida.

4.0 - ESTÁGIO ATUAL DOS TRABALHOS E AS PRÓXIMAS ETAPAS

O projeto SADISP encontra-se em fase de conclusão desta primeira etapa de desenvolvimento, contando com um protótipo de campo (figura 2) já montado no CEPEL e em testes finais, que deverá operar em caráter experimental na SE Mulungu da CHESF a partir do primeiro trimestre de 2005. Este protótipo tem a capacidade de 30 entradas analógicas (sendo 15 entradas de corrente e 15 de tensão), 48 entradas de estado via optoacopladores e 34 relés de comando.

A avaliação de campo permitirá à equipe da CHESF propor mudanças ou complementações de forma a adequar o projeto às necessidades do seu sistema. Através de uma segunda ilha de processamento gêmea no CEPEL será possível dar continuidade ao desenvolvimento de novas funções ou mesmo ao aprimoramento das já existentes. Em termos de evolução funcional do SADISP poderão ser implementadas várias outras funções e automatismos que ofereçam facilidades operacionais ao sistema. Esta linha de evolução é natural, na medida em que o SADISP foi concebido tendo em vista exatamente a viabilização da implementação de novas funcionalidades.

Uma segunda linha de evolução natural prevista para o SADISP consiste na comunicação com dispositivos externos inteligentes, como relés de proteção e dispositivos de supervisão e medição, de modo que possam ser compartilhados dados com dispositivos que coexistam no processo, como o sistema de proteção dos equipamentos de alta tensão, ou sistemas de supervisão e proteção destinados ao 13,8kV. Esta comunicação entre o SADISP e os demais equipamentos da planta, juntamente com a sua ligação com níveis hierárquicos superiores (sistemas de gerenciamento de energia, como o SAGE), permitirá uma integração de todos os sistemas da planta, assim como o comando unificado e remoto dos mesmos. Esta medida poderá proporcionar maior quantidade e qualidade de informações, redução global dos custos dos sistemas de automação e controle do processo como um todo, incluindo os custos relativos à montagem e comissionamento da subestação.

5.0 - CONCLUSÃO

O sistema de proteção, supervisão e controle do sistema elétrico se caracteriza pela exigência de processamento de um grande número de pontos do processo que são adquiridos igualmente por diversos equipamentos com distintas funções. A estrutura do SADISP, que digitaliza estes sinais uma única vez e os difunde em sua rede para as demais CPUs, torna-se bastante atrativa para este caso. Isto permite redução de custos em equipamentos para a aquisição e controle em subestações e usinas digitalizadas.

O emprego de hardware padronizado para as CPUs e cartões de aquisição facilita tanto a atualização tecnológica do sistema como a sua manutenção corretiva, possibilitando a interligação de diferentes gerações tecnológicas. Tal característica, aliada a uma estrutura de software aberta e modular, permite a evolução permanente do sistema, tanto do ponto de vista técnico como tecnológico.

Assim, o SADISP é visto pela CHESF e CEPEL como um projeto estratégico, capaz de dar maior flexibilidade e independência às empresas, seja pela disponibilidade de hardware, seja pela capacidade de desenvolvimento constante de novas funções, esquemas especiais e automatismos a serem incluídos no sistema.



FIGURA 2: Protótipo de campo

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Allan Cascaes Pereira et al, "Integração dos Sistemas Digitalizados de Proteção com os Sistemas de Supervisão, Controle e Automação de Subestações e Usinas – Uma Tendência Moderna", IX SEPOPE.
- (2) Diógenes Marques et al, "A experiência da COPEL na Integração de Proteções Digitais ao Sistema de Automação de Subestações", XVII SNPTEE
- (3) Marco Antonio M. Rodrigues e Carlos Alberto de M. Aviz – "Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações (SINAPE)"; XIV SNPTEE