

ARQUITETURA MODERNA PARA AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE CENTROS DE OPERAÇÃO E SUBESTAÇÕES

Gustavo Alves Tillmann
SPIN Engenharia de Automação

Clóvis Simões
SPIN Engenharia de Automação

RESUMO

Esse trabalho apresenta um *software* SCADA com arquitetura cliente x servidor orientado a implementação em centros de operação de companhias de energia elétrica. Uma proposta com os recursos apresentados bem como a metodologia básica para implementação também são descritas neste trabalho.

Soluções semelhantes foram implementadas, de forma mais completa ou parcial, em centros de operação do sistema (COS) ou centros de operação regional (COR) em empresas como a Companhia Energética de Brasília - CEB, Companhia Energética de Pernambuco - CELPE, Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE-RS, Companhia Energética do Maranhão - CEMAR e Centrais Elétricas do Pará - CELPA.

PALAVRAS CHAVE: Automação, SCADA, EMS, COS

1.0 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos anos, com a inflação e a moeda aparentemente sobre controle, tem-se observado um aquecimento industrial acompanhado de perto pelo aumento do consumo interno. Este fato tem aumentado a demanda por energia no país e impulsionado a expansão deste setor. A nova legislação e concorrência têm exigido das empresas uma postura de eficiência e não desperdício da energia disponível face ao ritmo moderado de ampliação da geração devido aos altos custos envolvidos e questões políticas e principalmente ambientais. Por esta razão, pesa sobre a distribuição a tarefa de otimizar o uso da energia comercializada e zelar por sua correta utilização, assegurando à sociedade a prestação de um serviço de qualidade, segundo critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

1.1 - O papel da automação e controle

Frente à necessidade de se respeitar os índices de continuidade e frequência no fornecimento de energia elétrica, especialistas em automação e controle têm desenvolvido novas técnicas e buscado soluções visando maior confiabilidade e velocidade na obtenção de informações de instalações espalhadas por regiões urbanas ou rurais. Para isso, incorporam nos projetos as tecnologias mais modernas disponíveis no mercado e as levam para empresas do setor, realizando a interface entre pesquisa e mercado.

Este trabalho apresenta uma arquitetura proposta para a automação de 32 subestações de energia elétrica

(sendo três delas também Centros de Operações Regionais - COR) ligadas a um Centro de Operações do Sistema (COS). A estrutura descrita, como também as etapas do processo de implantação de uma obra desta natureza, tem como base o trabalho de implantação de centros de operação realizado em diversas empresas de distribuição brasileiras tais como CELPA, CELPE, CEEE, RGE, CEMAR e, mais recentemente, realizado na Companhia Energética de Brasília (CEB) (2000/2001), cuja arquitetura é muito semelhante à apresentada e servirá como exemplo para alguns aspectos abordados.

2.0 - PROPOSTA DE ARQUITETURA

A arquitetura de operação proposta pode ser dividida em dois ambientes de trabalho para uma melhor compreensão: o primeiro ambiente seria cada uma das 32 subestações que se deseja supervisionar, o segundo seria o COS.

Utilizando o sistema operacional *Windows 2000/NT*, o *software* SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) ActionView da SPIN Engenharia de Automação é aplicado nos dois ambientes e configurado de forma a conferir características distintas nos dois casos levando-se em consideração questões operacionais e de manutenção.

Para implantação da arquitetura descrita considera-se que os pontos a serem monitorados / comandados são adquiridos através de diferentes *intelligent electronic devices* (IED's - tais como remotas, CLP's, relés, multi-medidores, câmeras de vídeo, remotas de poste, etc.) que interligam-se a uma unidade concentradora responsável pela comunicação com o COS/COR e a IHM local. Essa unidade concentradora pode ser de terceiros ou uma função do *software* SCADA. Nesse último caso o SCADA passa a ter um módulo servidor de comunicação e um módulo servidor de IHM, podendo, inclusive, implementar essas funções em duas estações de trabalho distintas. No caso da CEB utilizou-se um concentrador PMS da STD - Sistemas Técnicos Digitais para esta função, enquanto que na CEEE utilizou-se o próprio *software* SCADA como concentrador de comunicação.

2.1 - Ambiente subestação/COR

Em cada uma das subestações é instalado um ou mais micro computadores com o *software* ActionView e uma base de dados contendo os pontos apenas da planta supervisionada. O SCADA utilizado baseia-se em bases de dados replicáveis, isto é, a base de dados do COS, que contém todos os pontos de todas as subestações controladas, permite gerar réplicas

idênticas ou parciais dependendo do local de aplicação: completa para postos de trabalho do próprio COS e parciais para CORs e subestações. Esta característica confere integridade entre os pontos monitorados no COS e na subestação, pois a base de dados deste último seria uma réplica filha da primeira.

Três das subestações monitoradas são CORs, portanto suas bases de dados contém além dos pontos de sua própria planta, os das plantas ligadas ao centro regional. Na solução CEB, uma vez que o protocolo é implementado sobre TCP/IP, o meio de comunicação permanece igual ao de uma subestação normal. Nessa solução, os dados das subestações são transferidos para dois IP's distintos, através da mesma linha de comunicação e o ActionView do COR possui dois canais lógicos, um para o PMS local e outro para um concentrador que acumula os dados do COR.

Quanto aos equipamentos instalados nas subestações pode-se citar os seguintes:

- Servidor de comunicação concentrando as informações colhidas pelos IEDs instalados na subestação (pode ser um equipamento de terceiros ou do próprio software SCADA);
- UTR / CLP responsável pela informação de estado e comando dos equipamentos elétricos e telecomunicações;
- Câmeras de vídeo para obtenção de imagens da planta supervisionada;
- Medidores de grandezas elétricas espalhados pelos diversos vãos da estação;
- Relés digitais informando atuação de proteções ou mesmo estado de equipamentos e medidas dos vãos;
- Micro computador como posto de trabalho local para a operação;

2.1.1 - Comunicação

O servidor de IHM local é ligado ao concentrador em rede ethernet e sua comunicação é efetuada através do protocolo PECII desenvolvido para esta arquitetura. Trata-se de um protocolo balanceado, baseado em ASDUs do IEC-870-5-101, da mesma forma que o utilizado para a comunicação concentrador-COS. A Spin já forneceu esse protocolo para três empresas concessionárias de energia: CEEE, CELPE e CEB. Implementado sobre o protocolo TCP/IP, possuindo 4 NÍVEIS:

- No nível físico não são feitas restrições do meio a ser utilizado, sendo previsto o uso deste protocolo em meios de transmissão serial ou rede;
- No nível de enlace é utilizado o protocolo IP (*Internet Protocol*);
- No nível de transporte é usado o protocolo TCP;
- No nível de aplicação são implementadas as funções Telnet e FTP, sendo usadas também mensagens de aplicação (ASDUs) .

Sendo o servidor de comunicação do SCADA multicanal, pode-se estabelecer comunicação direta entre servidor e IED's via rede ou serial, utilizando protocolos diversos como DNP 3.0, IEC-870, Mlink, Courier, Modbus entre outros, alocados em cada um

dos canais disponíveis no módulo de comunicação do *software* supervisorio.

A comunicação subestações-COS é feita através de fibra óptica, LP's e rádio UHF, também utilizando o protocolo PECII. No caso da implantação na CEB, 10 subestações são servidas por fibra a uma taxa de transmissão de 10Mbps, nas demais a comunicação é feita via rádio e LP com taxas menores ou iguais a 14.400 bps. A comunicação entre concentrador-micro local e concentrador-COS é feita por portas distintas. Essa medida busca garantir o funcionamento do posto de trabalho local em caso de falhas no meio de comunicação ou qualquer outra eventualidade que impeça a informação de chegar ao centro.

A Figura 1 ilustra a estrutura instalada em uma subestação/COR:

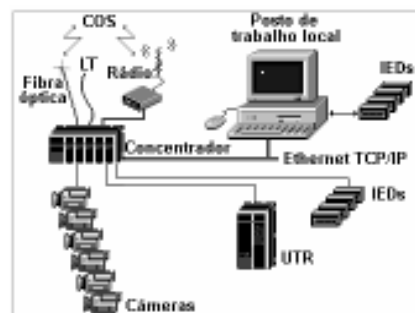


FIGURA 1

2.2 - Ambiente COS

No COS existe uma demanda maior pelas informações recebidas do campo. Estas podem ser disponibilizadas para acessos de formas diferentes por diversas equipes de trabalho tais como manutenção, operação do COS, operação da distribuição, estudos entre outros.

Visando atender a variedade de solicitações de um COS a arquitetura deste ambiente é mais complexa e sofisticada que a de uma subestação. O SCADA configurado em uma concepção cliente x servidor sobre uma rede TCP/IP possibilita distribuir a informação em diversos postos de trabalho cuja liberdade de ação é limitada por um perfil definido para cada um dos grupos de usuários que utiliza o sistema.

Assim, faz-se necessário apresentar os diversos componentes da solução no ambiente do COS separadamente antes da configuração proposta:

- Servidores de comunicação e base de dados em Tempo Real (BDTR);
- Postos de operação com interface homem-máquina (IHM);
- Servidor de dados históricos;
- Servidor *web*;
- Servidor de dados estimados - EMS (*Energy Management System*);
- Servidor de dados para acesso via linha discada RAS (*Remote Access Service*).

2.2.1- Servidores de comunicação e base de dados em tempo real (BDTR)

As informações oriundas do campo são disponibilizadas em uma rede ethernet TCP/IP do COS. No caso da CEB utilizou-se para esta tarefa um concentrador SCOM da STD. No COR Pelotas, da CEEE, utilizou-se o próprio servidor de comunicação e BDTR do software SCADA.

Dois micros de alta performance com duplo processamento e grande quantidade de memória (512 Mb) são os servidores BDTR. Em configuração dual, aquele em função mestre implementa a comunicação com o campo enquanto o segundo, em função escravo serve como "hotstandby" do primeiro, avaliando a qualidade da comunicação e preparado para assumi-la caso haja degradação na troca de dados.

Da mesma forma como mencionado no ambiente da subestação, a função servidor de comunicação do SCADA permite que em cada canal de comunicação, serial ou rede, exista um protocolo distinto. O servidor de comunicação, desenvolvido em C++ ativa uma tarefa independente para cada canal de comunicação possibilitando seu uso como tradutor de protocolos ("gateway"). Assim, por exemplo, um ponto pode ser lido do campo através do protocolo DNP 3.0 e enviado para o COS usando o protocolo IEC-870-5-101 escravo.

2.2.2 - Postos de operação com interface homem-máquina (Servidor de IHM)

Tratam-se dos postos de operação onde são apresentados os diagramas unifilares das subestações supervisionadas, sumários de pontos monitorados em alarme, sumário de eventos ocorridos durante o dia, telas com medidas colhidas do campo, imagens de câmeras instaladas nas subestações transferidas via FTP (*File Transfer Protocol*), enfim, máquinas que suportam a função de troca de informações entre o usuário e o campo. Estas estações são clientes das servidoras BDTR, ou seja, as informações de estado e comando de equipamentos são solicitadas e enviadas ao campo através do servidor mestre.

O número de postos deste tipo no COS, a princípio, pode ser tanto quanto se julgar necessário. Dispondo de placas de múltiplos vídeos é possível a instalação de até 4 monitores em um único terminal para a visualização de mais de uma tela, simultaneamente. Também citando a solução CEB, essa conta com 10 servidores IHM sendo um ligado à dois cubos de retroprojeção digital de 50", um ligado a um painel mímico e demais estações com dual vídeo de 21".

Como se tratam dos postos de trabalho da maioria dos usuários, a liberdade de interação com o sistema deve ser limitada através da configuração de perfis de acesso. Para um grupo usuários que só trabalhem na monitoração e comando de equipamentos em tensões menores ou iguais à 13,8Kv, por exemplo, deve-se cadastrá-los em um perfil de acesso configurado que impossibilite que qualquer membro desta equipe comande equipamentos em tensões mais elevadas.

Através dos postos de IHM é possível também efetuar pesquisas de medidas e eventos ocorridos em dias, meses ou anos anteriores, desde que ainda estejam disponíveis em disco da estação servidora de histórico.

2.2.3 - Servidor de dados históricos

Esta estação é um cliente com interface da mesma forma que um IHM normal. Porém, armazena todas as informações recebidas do campo (via servidor BDTR) em uma base de dados histórica disponibilizada na rede corporativa da empresa. Para esta função deve ser utilizada uma máquina com grande capacidade de processamento, memória e disco rígido para o armazenamento prolongado das informações.

Um banco de dados de alto desempenho é necessário, Oracle ou SQLServer, para garantir uma maior performance no armazenamento e acesso às informações tendo em vista a quantidade de pontos monitorados e o número de usuários. Além dos registros de eventos e alarmes ocorridos, a base de dados históricos grava o valor de medidas com uma frequência configurável, e ações de operação como envio de comandos, permitindo a reconstituição de uma seqüência de eventos passados.

A permanência dos dados na base de dados deste servidor pode ser configurada e depende da quantidade de informações gravadas, frequência de gravação e tamanho do disco rígido disponível na máquina.

A base de dados histórica é acessada através de ferramentas de consulta disponíveis nos postos IHM, através de um aplicativo especializado em consultas neste tipo de base de dados ou através de um *browser* de navegação em internet/intranet, desde que o sistema disponha de um servidor *web* do ActionView instalado e configurado.

2.2.4 - Servidor *web*

Em um posto são instalados os arquivos necessários para execução de um processo cliente do servidor BDTR do ActionView, o ActWeb. Através do IIS (*Internet Information Service*), este processo disponibiliza as telas de tempo real e de consultas históricas à rede Internet / Intranet permitindo que usuários acessem essas informações através de um *browser* de internet. Este recurso, na versão atual, possibilita que usuários visualizem:

- Qualquer tela de processo, com dados atualizados em tempo real;
- Qualquer tela de medidas com dados de tempo real;
- Tela de eventos do dia;
- Consultas a dados históricos;

2.2.5 - Servidor de Dados Estimados EMS (*Energy Management System*)

O servidor de EMS não é uma função característica do software SCADA e sim de sua aplicação em sistemas elétricos e de potência. Esse serviço é composto por programas aplicativos processados em dois ambientes

distintos: ambiente de tempo real e ambiente de estudos elétricos.

O ambiente de tempo-real é formado pelas funções Modelador de Rede, Fluxo de Potência, Estimador de Estado e Análise de Contingências. O ambiente de Estudos Elétricos inclui as funções de Análise de Fluxo de Carga, Equivalentes Estáticos e Análise de Contingências.

Através de uma biblioteca de vínculo dinâmico (DLL) conectada ao SCADA, o servidor de dados estimados, em tempo real, recebe as informações do estado de chaves que definem a topologia do sistema elétrico monitorado e das medidas elétricas correntes. Esses dados são processados e em seguida disponibilizados ao servidor BDTR os valores estimados das medidas com índice de ponderação de sua validade, servindo como ferramenta para aferir a qualidade do valor recebido do campo.

A concepção do módulo estimador de estados permite a conexão de aplicativos EMS de diferentes fornecedores ao sistema. Na solução CEB foram usados os programas EMS desenvolvidos na Unicamp pelos professores Alcir Monticelli e Ariovaldo V. Garcia (3 a 5).

2.2.6 - Servidor de dados para acesso via linha discada RAS (*Remote Access Service*)

Além da conexão de postos de trabalho IHM aos servidores BDTR via rede TCP/IP, em um destes postos pode ser implementado o serviço de servidor RAS do Windows-2000/NT.

Este recurso possibilita que estações IHM remotas, um *laptop* por exemplo, estabeleçam comunicação com o servidor BDTR através de linha telefônica em *dial-up network*.

Através de uma conexão desta natureza é possível ter um posto IHM em campo com a equipe de manutenção, podendo obter as mesmas informações disponibilizadas aos postos do COS, incluindo pesquisas a base de dados histórico e comandos, desde que o perfil do usuário habilite tal operação.

A utilização da rede telefônica porém, apresenta uma taxa de transmissão de dados muito aquém da operada pela rede do COS (até 33.600 Bps x 100 Mbps). Esta limitação é compensada com a utilização de *Berkeley sockets* e a inibição dos mecanismo de sincronização entre bases replicantes, que permitem uma operação confortável a 14.400 bps, estando todas as telas gráficas residentes no micro remoto.

2.2.7 - Demais considerações quanto a arquitetura do COS

Rede:

Todos os postos do COS estão ligados em uma rede ethernet de 100 Mbps e trocam informações com os servidores BDTR através do protocolo ActionNet, desenvolvido pela Spin. Este protocolo, classifica as informações trocadas entre as máquinas da rede em mensagens de acordo com função e prioridade tais como:

- Controle dos servidores de dados de tempo real (BDTR) em comunicação dual (funções Mestre-Escravo);
- Conexão / desconexão de estações de trabalho da rede de tempo real;
- Início / reinício da comunicação das estações de trabalho com servidores;
- Sincronismo de relógio na rede;
- Leitura cíclica dos dados do processo para fins de integridade;
- Tratamento de eventos e alarmes não solicitados;
- Processamento de comandos;

O protocolo ActionNet é aberto e disponibilizado aos usuários, permitindo que outros aplicativos se conectem como clientes do servidor de BDTR. Assim, por exemplo, na CEB, toda a operação em tempo real do sistema de distribuição é feita através de um módulo GIS (*Geographical Information System*) já existente (implementado em Unix) que foi adaptado para tornar-se um cliente do ActionView.

Base de dados replicável:

De modo a facilitar a manutenção e expansão do sistema com a configuração de novos pontos monitorados as bases de dados de cada posto de trabalho está configurada segundo o conceito de replicância.

Um posto de trabalho, reservado para manutenção, possui uma base de dados mestre de projeto. Todos os demais, incluindo as dos servidores BDTR são réplicas idênticas desta mestre. Uma alteração de parâmetro, cadastramento de novos pontos monitorados ou de um novo usuário, efetuado em um posto de trabalho cliente, é gerenciada de forma que todos os postos sejam sincronizados e absorvam as modificações. As bases de dados dos postos locais das subestações também são réplicas da mestre de projeto mas neste caso são geradas réplicas parciais contendo apenas os pontos selecionados para aquela subestação ou região, no caso de um COR.

Esta ferramenta de manutenção de banco de dados distribuído garante a integridade e coerência das informações cadastradas em todos os postos de operação e centraliza a manutenção daqueles instalados nas subestações. Assim, uma alteração feita em qualquer local é replicada para as demais bases através do mecanismo de sincronismo entre bases de um mesmo conjunto de réplicas.

2.2.8 - Configuração dos componentes do COS

Com estas ferramentas disponíveis a arquitetura proposta para um COS completo teria os seguintes componentes:

1. Um concentrador de comunicações suportando conexões via fibra óptica, LP e rádio UHF/VHF em protocolo TCP/IP. Esse concentrador pode ser de terceiros (SCOM) ou ser o próprio servidor de BDTR e comunicação;
2. Dois servidores BDTR e comunicação em configuração dual *hotstanby* (configuração Mestre - Escravo);

3. Quatro clientes na função de postos de trabalho para operadores do COS;
4. Um cliente como posto de manutenção e expansão do sistema;
5. Um cliente servidor EMS para tempo real;
6. Um cliente como servidor de impressão e de imagens, conectado a cubos de retroprojeção digital ou painel de vídeo;
7. Dois postos para treinamento de operação com visualização da estrutura real do sistema mas conectado a um emulador de campo;
8. Um cliente servidor EMS para estudos elétricos com possibilidade de adquirir dados de tempo real e históricos;
9. Um posto servidor de conexão RAS/servidor *web* e impressão;
10. Um cliente servidor de dados históricos;
11. Clientes externos conectados através do protocolo ActionNet.

Através de um *switch* de redes pode-se dividir estas máquinas em mais de uma rede para minimizar tráfego de informações na sub-rede de operação. Assim, os componentes 1 a 6 estariam na primeira sub-rede, de 7 a 8 pertenceriam a segunda sub-rede, uma porta do *switch* estaria disponível para o conexão de aplicativos GIS ou outros que necessitem das informações em tempo real. Finalmente, o servidor RAS/*web* e o servidor de dados históricos estariam na rede corporativa da empresa estando o banco de dados deste último acessível de diversos pontos da empresa sem necessidade de possuir o sistema supervisorado instalado. Esta arquitetura é mostrada na Figura 2.

3 - METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO

Baseado na experiência adquirida na implantação de sistemas semelhantes ao descrito, o roteiro de atividades proposto compreende as seguintes etapas:

- Fornecimento da documentação para configuração da base de dados dos sistema incluindo esquemas unificadas das subestações, lista de pontos a serem monitorados com respectivos endereços lógicos, parâmetros, textos de alarme, fundos de escala, limites de operação, etc;
- A partir dos requisitos do cliente, criar os objetos típicos dos vão das subestações que se tornarão grupos base para posterior derivação;
- Cadastramento das informações de campo na base de dados do SCADA, utilizando o conceito de instâncias de objetos padrão que caracterizam os vão com todos seus inter-relacionamentos;
- Configuração de tela(s) de uma ou duas subestações ligadas a um emulador de campo para testes de laboratório;
- Apresentação da configuração resumida aos usuários finais para análise crítica e sugestões;
- Ajuste de telas e base de dados conforme a análise feita na etapa anterior;
- Re-apresentação do sistema com emulador de campo para aprovação dos ajustes realizados;
- Teste de fábrica com o sistema interagindo com equipamentos similares aos encontrados no

- campo em ambiente de laboratório para ajustes de canais e protocolos de comunicação;
- Configuração das demais telas e pontos do sistema;
- Instalação das máquinas do COS e testes de campo comunicando com equipamentos nas plantas supervisionadas;
- Configuração das máquinas de subestação/CORs quanto a programas e bases de dados réplicas parciais;
- Comissionamento uma a uma das subestações supervisionadas incluindo habilitação do canal de comunicação, instalação do posto de trabalho local, teste de alarmes, sinalização e comando local e remoto;
- Revisão final do sistema com correção de pendências ajustes de parâmetros de comunicação, telas e base de dados.

O tempo de implantação e o impacto deste processo sobre os usuários finais do sistema serão tão menores quanto maior for a capacidade de entrosamento das equipes responsáveis e a qualidade das informações fornecidas para a configuração do sistema, que devem estar em conformidade com a realidade do campo e a expectativa dos usuários.

Outras variáveis também são de fundamental importância na questão tempo tais como o número de subestações, CORs a serem instalados, configuração final do COS e total de pontos a serem monitorados.

4 - CONCLUSÕES

Com o conjunto de ferramentas apresentadas pode-se montar uma arquitetura funcional e completa para a automação de subestações, CORs e COS. Apesar das necessidades de cada empresa ser única, de uma forma geral, a solução proposta reúne os recursos funcionais para uma supervisão completa e confiável da malha de distribuição.

Baseado nesta estrutura diversas outras configurações podem ser criadas. A ampliação do número de postos de trabalho ou a eliminação de alguns recursos que em um primeiro momento não sejam interessantes podem ocorrer, seja para adaptar o sistema a equipamentos já existentes no campo ou mesmo para adequar a implantação a um cronograma ou orçamento.

A ordem do processo de implantação deve, dentro do possível, manter-se dentro das linhas apresentadas podendo porém, serem realizadas mais de uma etapa simultaneamente desde que haja recursos, tempo e pessoal para sua execução. Preferencialmente as equipes que participam de implantações deste gênero devem contar com membros especializados de três áreas básicas: comunicação dos dados, parametrização do sistema e processo a ser automatizado (engenharia, operação e manutenção). A interação deste pessoal e seu interesse e comprometimento em atingir o objetivo final de forma rápida e eficiente, são fatores chave na implantação com mínimo transtorno para a operação e para empresa.

O sistema da CEB possui hoje 685 IED's distribuídas em 31 subestações, tendo cerca de 23.800 pontos de supervisão e controle. Foi implementado utilizando o SCADA ActionView, distribuído em 4 subredes, contando com dois servidores BDTR e comunicação e 10 clientes, destacando entre estes dois servidores de EMS, sendo um de tempo real e outro de estudos, um

servidor RAS, um servidor de histórico com banco de dados implementado em ORACLE 8i e um cliente externo implementando funções de tempo real do COD da CEB, sobre um aplicativo GIS.

O sistema foi implementado no ambiente definitivo em 12 meses, em substituição a um sistema antigo, sem a interrupção da operação por sequer um dia, tendo-se desenvolvido diversas funcionalidades visando facilitar a sua implantação e manutenção futura.

- (2) - SPIN ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO. Protocolo Entre Centros II – Brasil.
- (3) - MONTICELLI, A. e GARCIA, A.V, et alli. "Implementação do Programa Estimador de Estado", Relatório 7 do convênio de cooperação entre CPFL e a UNICAMP, Junho 1993.
- (4) - MONTICELLI, A. e GARCIA, A.V. "Módulo de Análise de Contingências", Relatório 12 do convênio de cooperação entre CPFL e a UNICAMP, outubro 1994.
- (5) - MONTICELLI, A. e GARCIA, A.V. "Avaliação Preliminar da Rede da CEMIG, Estimador de Estado Off-Line, Análise de Observabilidade, Configurador de Rede e Modelo de Rede Interligada", Relatórios 1 a 5, respectivamente, do convênio CEMIG - UNICAMP, de março de 1995 a outubro de 1997.

BIBLIOGRAFIA

- (1) - SPIN ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO. Protocolo ActioNET – Brasil.

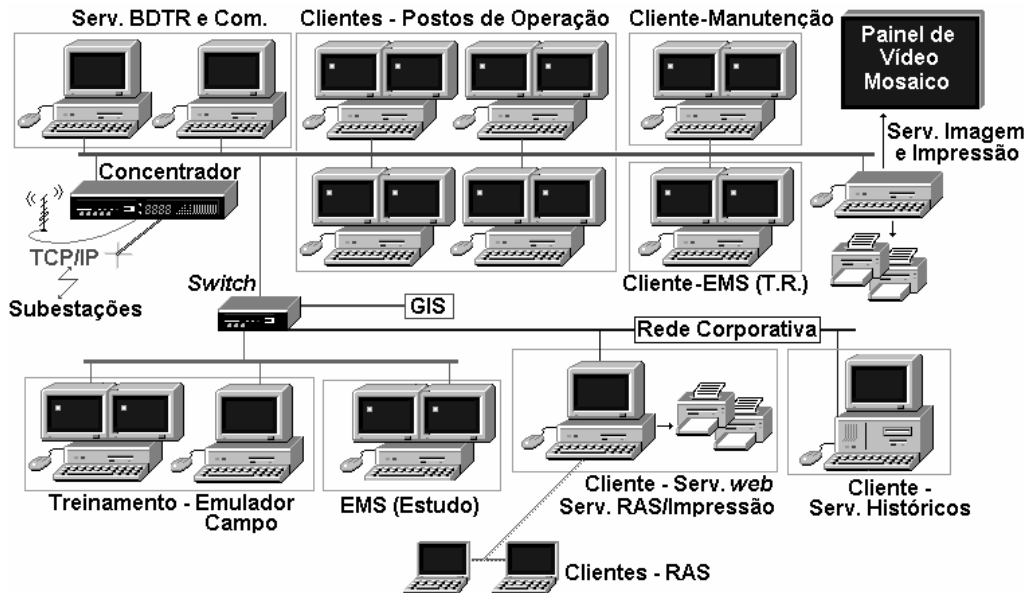


FIGURA 2