



**XV SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

**STC/ 12  
17 à 22 de outubro de 1999  
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

## **SESSÃO TÉCNICA ESPECIAL CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (STC)**

### **ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Marco Antonio Saidel \*

André Luiz Montero Alvarez

Paulo Hélio Kanayama

Mauricio de Oliveira e Silva

#### **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta os detalhes técnicos e de planejamento do processo de especificação de um sistema de gerenciamento de energia elétrica para o maior campus da Universidade de São Paulo.

Devido ao papel da Universidade como entidade de pesquisa e de formação de profissionais que atendam às necessidades atuais e futuras da sociedade, houve uma preocupação em estender o conjunto de informações coletadas para além da aquisição de demanda e energia trifásicas, ao contrário dos sistemas mais típicos. Dessa forma, todo o campus está se tornando um laboratório extremamente útil nas diversas linhas de pesquisa em sistemas de potência.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Gerenciamento de energia – GLD – conservação de energia – diagnóstico energético

#### **1.0 – INTRODUÇÃO**

Em 1996, O GEPEA - Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP - realizou um diagnóstico energético na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO), o maior

campus da Universidade de São Paulo, dentro de um projeto denominado CONSERVUSP.

O projeto CONSERVUSP, apoiado pela FAPESP, consistiu no diagnóstico energético integral (medições e inspeção de ambientes) das duas Unidades do campus com maior consumo por área construída e no levantamento de dados amostrais (via preenchimento de questionários) de outras Unidades, totalizando 50% das instalações existentes no campus (1, 2).

Um dos principais resultados do CONSERVUSP foi a identificação de um grande potencial de conservação de energia elétrica estimado em 27% e 44% para as duas Unidades onde foram realizados os diagnósticos energéticos integrais. Estudos posteriores confirmaram esses resultados e estimaram em 27% o potencial de conservação de todo o campus (3).

Diante desse fato, a reitoria da USP, sensibilizada com as necessidades de uso racional e eficiente dos recursos energéticos dentro da Universidade e preocupada com o ensino e a pesquisa relacionados com o tema, decidiu investir num sistema de gerenciamento de energia capaz de monitorar todas as Unidades consumidoras.

A partir desse sistema, será possível efetuar a medição de todas as cabinas primárias de forma sincronizada com a medição da concessionária, realizada na subestação de transformação do campus. Uma vez que a USP é tarifada como um único grande consumidor em tensão de 88kV, o sistema permitirá ratear a conta de energia elétrica entre todas as Unidades, onde cada

uma será responsável pela sua parcela do consumo geral. Dessa forma, é esperada a adoção de uma série de medidas contra o desperdício de energia elétrica por parte das administrações das Unidades, pois a partir das informações de consumo fornecidas pelo sistema de gerenciamento, cada uma será capaz de se auto-avaliar e por em prática ações que aumentem a eficiência energética da instalação.

O custo dessa primeira parte do sistema foi de aproximadamente US\$ 300 mil, correspondendo a 60% do custo estimado para o sistema completo, um investimento pequeno quando comparado ao custo anual de energia elétrica da CUASO, cerca de US\$ 5 milhões.

## 2.0 – PLANEJAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO

Durante o planejamento e a especificação do sistema de gerenciamento de energia, foi decidido dividir a execução do processo de implantação em duas etapas.

A primeira etapa corresponde à monitoração das 35 cabinas primárias com maior capacidade instalada, em kVA, no campus. Além desses, outros 2 pontos de medição foram definidos na subestação de transformação da CUASO, correspondendo às medições para fins de faturamento efetuadas pelos RDTDs da concessionária.

A segunda fase contempla a monitoração dos 43 pontos de medição restantes, dos quais 37 correspondem a cabinas primárias e 6 estão localizados na subestação, nas saídas para as linhas de distribuição do campus.

Além da monitoração, está prevista, também, a possibilidade de controle de eventuais cargas interruptíveis ainda não identificadas. Na verdade, essas cargas serão localizadas a partir dos dados fornecidos pelo próprio sistema, ou seja, será um processo de crescimento contínuo, porém, para fins de planejamento e projeto, é conveniente separar o processo em dois grandes blocos como o que foi realizado.

Atualmente, está em andamento a primeira fase do projeto. O sistema já foi comprado e estão sendo instalados os transdutores e os respectivos transformadores de potencial e de corrente, bem como os demais equipamentos necessários para a entrada em operação imediata do sistema. A entrega dos primeiros

pontos de monitoração está prevista para meados do mês de maio deste ano.

É importante observar, ainda, que a compra do sistema pela Universidade foi efetuada através de processo licitatório, conforme as Leis 8.666/93, 8.883/94 e 9.032/95.

### 2.1 – As necessidades da CUASO

O primeiro passo a ser dado em direção à especificação de um sistema de gerenciamento de energia desse porte é determinar exatamente as necessidades reais da instalação. No caso da CUASO, foram levantadas todas as cabinas primárias e suas respectivas capacidades em kVA. Foi estudado, também, todo o sistema de distribuição de energia elétrica, da subestação de transformação até os terminais das linhas de distribuição. Feito isso, foi elaborada uma tabela priorizando os pontos a serem medidos, procurando sempre, nessa primeira fase do sistema, a alocação mínima de recursos financeiros. Nesse caso, um dos critérios adotados para a seleção dos primeiros pontos de medição foi a capacidade instalada em transformação da cabina primária.

Após a determinação precisa das necessidades da instalação, foram estudados vários sistemas de gerenciamento de energia disponíveis no mercado. Todas as características favoráveis desses sistemas foram anotadas, permitindo, assim, estabelecer as características técnicas e de performance desejáveis para o sistema pretendido. É importante enfatizar a importância desta fase, uma vez que o contato com os fabricantes desses equipamentos é uma fonte de conhecimentos sobre o estado da arte das tecnologias envolvidas, sem o qual haveria o risco de ser especificado um sistema inviável, na prática, do ponto de vista técnico e econômico.

### 2.2 – O sistema de gerenciamento especificado

Diante da definição clara das necessidades da CUASO e do conhecimento das tecnologias disponíveis atualmente no mercado, foi possível elaborar a especificação técnica do sistema pretendido.

Tendo sempre em mente a alocação ótima de recursos, a especificação da primeira fase de implantação do sistema contemplou a monitoração de 46% dos pontos totais de medição. Desses pontos, dois deles são de particular importância, correspondendo às medições para faturamento realizadas pelos RDTDs da concessionária, localizados na subestação de

transformação da CUASO. A partir da leitura dos RDTDs, será possível verificar o faturamento da concessionária e atuar, no futuro, nas cargas interruptíveis e nos bancos de capacitores sempre que a demanda contratada ou o limite do fator de potência forem ultrapassados, evitando, assim, as onerosas multas incorridas nessas situações.

Ainda com a preocupação de minimizar o custo inicial do projeto, foi decidido não controlar nenhuma carga nessa primeira fase, uma vez que as cargas controláveis serão determinadas após a entrada em operação do sistema. Dessa forma, os sistemas propostos pelas empresas licitantes poderiam apresentar apenas funções de monitoração desde que elas garantissem a flexibilidade de seus sistemas em relação à inclusão de funções de controle numa fase futura de implementação. Além disso, foi exigido, também, a expansibilidade dos sistemas no que diz respeito ao aumento do número dos pontos de medição e de controle.

Em relação às grandezas monitoradas, os sistemas típicos de gerenciamento de energia disponíveis no mercado trabalham, geralmente, com grandezas trifásicas. Porém, devido ao papel da Universidade como entidade de ensino, pesquisa e extensão, houve uma preocupação em estender esse conjunto de informações para as grandezas monofásicas. Dessa forma, as informações fornecidas pelo sistema servirão de subsídio para estudos futuros de fluxo de carga, desequilíbrio, regulação e flutuações de rede entre muitos outros, fato que transformará a CUASO num grande laboratório de sistemas de potência a céu aberto<sup>1</sup>.

O conjunto mínimo de grandezas e variáveis que o sistema deveria monitorar era:

- Consumos de ativos e de reativos trifásicos.
- Demandas de ativos e de reativos trifásicas.
- Fator de potência por fase.
- Tensão eficaz média por fase com período máximo de integração de 15 minutos.
- Corrente eficaz média por fase com período máximo de integração de 15 minutos.
- Estado (“ON/OFF”) dos disjuntores de subtensão e de sobrecorrente nos pontos relativos a cabinas primárias.

Em relação à central de operações do sistema, foi especificado para ela ser montada na Prefeitura da Cidade Universitária (PCO), responsável pela

<sup>1</sup> O consumo da CUASO equivale ao de uma cidade de 30 mil habitantes.

manutenção e operação das cabinas primárias do campus. A central de operação corresponde ao computador que executa o software que gerencia toda a operação do sistema. Para maior confiabilidade, existe um segundo computador operando em “stand by”, conectado em paralelo com o computador central. Um terceiro computador, também conectado ao computador central, foi instalado no GEPEA com o objetivo de permitir o acesso ao banco de dados do sistema, possibilitando o uso das informações disponibilizadas nas diversas pesquisas relacionadas com o assunto. Vale observar que ambos os computadores foram especificados com valores mínimos aceitáveis das capacidades de processamento e de armazenamento de dados.

No que diz respeito à interligação e à comunicação dos diversos equipamentos que compõe o sistema, foi oferecida uma linha telefônica privada (par trançado) para cada ponto de medição do sistema. Como as distâncias envolvidas entre os diversos pontos de medição atingem a casa dos 4 km, foi facultado às licitantes o uso de linhas privadas nos sistemas propostos, havendo liberdade para a proposição de qualquer outro sistema de comunicação que elas julgassem adequados.

Na parte de hardware, foi exigido que os equipamentos operassem em sincronismo com a concessionária de forma a não interferir na operação normal dos RDTDs da concessionária. Além disso, os equipamentos do sistema não deveriam introduzir interferências elétricas nas cabinas primárias monitoradas, bem como no sistema telefônico caso utilizado. Ainda em relação ao hardware, foi especificada a necessidade de funcionamento independente e de mecanismos de auto-religamento, com proteções contra surtos de manobra e atmosférico. Nesse caso, se algum dos equipamentos perder a comunicação com os demais, o resto do sistema deverá continuar operando normalmente. Da mesma forma, o equipamento deverá ser capaz de armazenar os dados coletados por no mínimo 12 horas.

O software utilizado para gerenciar todas as operações do sistema também foi especificado. Entre as principais atribuições exigidas, foram destacadas:

- Execução em plataforma Windows 95/NT.
- Simulações tarifárias segundo o sistema tarifário brasileiro.
- Software aberto à programação por parte do usuário (elaboração de unifilares, configuração das grandezas monitoradas, reajustes dos valores de tarifa, etc.).

- Exibição de todas as grandezas trifásicas e monofásicas exigidas.
- Contas de energia elétrica setoriais para cada Unidade monitorada.
- Disparo de alarmes por falta de energia, por ultrapassagem da demanda contratada, por acionamento de disjuntores, etc..
- Relatórios gerados em arquivos de formatos compatíveis com as planilhas eletrônicas do mercado (DBF, XLS, etc.).

### 3.0 – O SISTEMA EM IMPLANTAÇÃO

Como era esperado, a empresa ganhadora da licitação ofereceu um sistema com funções adicionais em relação às características mínimas exigidas, uma vez que a licitação foi pontuada conforme itens técnicos.

#### 3.1 – Topologia

Basicamente, o sistema em fase de implementação apresenta uma topologia radial em dois níveis, ou seja as informações coletadas nas cabinas primárias são concentradas em 5 pontos específicos, os quais descarregam todos os dados armazenados em um computador, conforme figura 1.

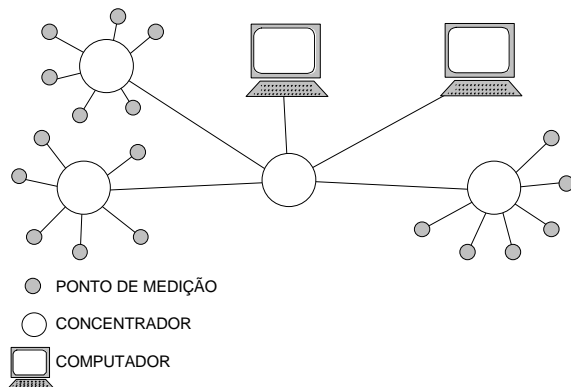


FIGURA 1: Topologia do sistema de gerenciamento.

A principal vantagem dessa topologia é a confiabilidade, uma vez que os equipamentos defeituosos ou com problemas temporários de comunicação (por falta de energia, por exemplo) não interferem na operação dos equipamentos do mesmo nível ou de níveis superiores.

#### 3.2 – Transdutores

Os transdutores digitais utilizados no sistema são bastante flexíveis e precisos ("true RMS" com classe de exatidão 0,5%). Através de programação adequada, os transdutores podem ser configurados para fornecer todas as grandezas de interesse na monitoração de sistemas de potência. Dessa forma, é possível medir as seguintes grandezas fase a fase: tensão, corrente, potências ativa e reativa, fator de potência, frequência e energias ativa e reativa.

No sistema de gerenciamento em questão, no entanto, o cálculo dos consumos de ativos e reativos é realizado pelo equipamento concentrador.

A medição da tensão é realizada através de transformadores de potencial, uma vez que a monitoração é realizada no lado da alta tensão (13,8kV). A medição da corrente também é indireta, realizada via transformadores de corrente, uma vez que o fundo de escala do equipamento é de apenas 5 ampères.

A comunicação dos transdutores com os concentradores é realizada através da porta de comunicação serial RS 485, com protocolo MODBUS. Como os equipamentos concentradores estão distantes, no máximo, a poucas centenas de metros dos pontos de medição, a distância não representa um fator crítico no uso da comunicação serial.

#### 3.3 – Concentradores

Os equipamentos concentradores tem por objetivo coletar e armazenar temporariamente todos os dados transmitidos pelos transdutores dos diversos pontos de medição.

Na topologia de rede apresentada na figura 1, os concentradores que recebem as informações dos transdutores digitais enviam os registros coletados para um concentrador central, o qual está conectado diretamente com a central de operações do sistema (localizado na PCO). A comunicação do concentrador central com o computador da central de operações e os demais concentradores do sistema também é realizada via porta serial, através de modems, uma vez que as distâncias, nesse caso, podem ultrapassar a casa dos 1000 metros.

É importante observar que os concentradores incorporam funções de controle local, possibilitando o seu uso na coordenação da proteção das cabinas primárias, já que a medição está sendo realizada no 13,8kV antes dos disjuntores.

### 3.4 – Computadores

O tratamento matemático e a análise dos dados levantados pelo sistema é realizado pelo computador central. Todas as informações armazenadas temporariamente nos equipamentos concentradores são gravadas definitivamente no disco rígido, dentro de um banco de dados com toda a série histórica de medições efetuadas pelo sistema.

Além disso, todos os alarmes de ultrapassagem de demanda, de baixo fator de potência e de acionamento de disjuntores são acusados na tela do computador, permitindo ao usuário tomar as decisões adequadas para tal situação.

No futuro, com a implementação das funções de controle previstas em projeto, as ações de controle de cargas interruptíveis e de bancos de capacitores de correção do fator de potência serão disparadas por esse computador, seja por meio de procedimentos pré-programados, seja por intervenção do operador.

Em relação à configuração interna dos computadores do sistema, foram usados computadores padrão IBM-PC, com elevada performance de processamento e grande capacidade de armazenamento de dados.

É importante observar que existem três computadores operando em paralelo, dois instalados na PCO e um no GEPEA. Isso se deve ao fato de que o sistema será utilizado também em pesquisas dentro da Universidade. Dessa forma, é possível acessar e analisar toda essa grande quantidade de dados, existindo planos para que no curto prazo este acesso seja estendido às demais unidades, através da atualização constante de páginas na Internet com os dados de consumo de cada unidade monitorada. Com isso, além do desenvolvimento de estudos em outras partes do campus, será possível, também, um acompanhamento minucioso, por parte das respectivas administrações, dos hábitos de consumo das Unidades.

### 3.5 – Comunicação

A comunicação entre os diversos equipamentos que compõe o sistema foi algo considerado crítico desde o início da fase de projeto. Para que o sistema pudesse operar de forma confiável e ininterrupta, era necessário um meio de comunicação permanente, imune a ruídos e outras formas de interferência, além de apresentar uma relação custo/benefício favorável.

Entre as diversas tecnologias de transmissão de dados utilizadas pelos sistemas de gerenciamento disponíveis no mercado, foram analisadas a "carrying", a

transmissão via ondas de rádio, fibras ópticas, redes de internet e linhas telefônicas privadas, sendo essa última escolhida para o sistema implementado. Para tanto, a Universidade forneceu uma linha privada para cada ponto de medição, possibilitando a interligação dos vários componentes do sistema.

### 3.6 – Softwares

O software de gerenciamento do sistema comprado apresenta todas as características exigidas, somadas a uma série de outras ferramentas para análise das informações levantadas. Exemplos dessas ferramentas são os arquivos de "logs" do sistema, o controle de acesso por senha em vários níveis de usuários e utilitários gráficos para a programação de telas e unifilares.

## 4.0 - CONCLUSÕES

O processo de implantação da primeira fase do sistema de gerenciamento de energia da CUASO já está em fase final. A partir de maio deste ano, o sistema já será capaz de fornecer valiosas informações a respeito dos hábitos de consumo de boa parte das Unidades consumidoras do campus. De posse dessas informações, será possível atuar de maneira objetiva contra o desperdício de energia elétrica, através de ações que promovam o seu uso racional e eficiente em edificações específicas. Portanto, o sistema de gerenciamento em questão se constitui numa ferramenta poderosa e essencial para que esses objetivos possam ser atingidos.

Além disso, o enorme volume de dados disponibilizados pelo sistema também servirá de subsídio no desenvolvimento de uma série de outras pesquisas relacionadas com o tema.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GEPEA. Definição de um programa de conservação de energia no campus Armando de Salles Oliveira da Universidade de São Paulo. Relatório técnico (1996). São Paulo.
- (2) SAIDEL, M. A.; ALVAREZ, A. L. M.; KANAYAMA, P. H.; UDAETA, M. E. M.. A conservação de energia em instituições universitárias: o programa de conservação na USP. Artigo Técnico apresentado no XIV SNTPEE (1997). Brasil.

(3) ALVAREZ, A. L. M.. Uso racional de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares. Dissertação de Mestrado apresentada à EPUSP (1998). São Paulo.

#### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Marco Antonio Saidel, nascido em 1954, engenheiro eletricitista em 1978 pela Escola Politécnica da USP, Mestre em Engenharia Elétrica em 1987 e Doutor em Engenharia Elétrica em 1995, ambos pela USP. Professor do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, atua na área de CAD/CAE e de conservação e uso racional de energia, coordenando projetos de pesquisa nesta área.

André Luiz Montero Alvarez, nascido em 1970, engenheiro eletricitista graduado em 1995 e Mestre em Engenharia Elétrica em 1998 pela Escola Politécnica da USP. Atualmente., atua nesse departamento como

Pesquisador Doutorando na área de conservação e uso eficiente de energia elétrica.

Paulo Hélio Kanayama, nascido em 1969, engenheiro eletricitista em 1993 pela Escola Politécnica da USP, desenvolveu pesquisas na área de conservação de energia na arquitetura na Universidade de Hokkaido, Japão, em 1994. Atualmente, atua como Pesquisador Mestrando no Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP, na área de conservação de energia e reciclagem de lixo.

Mauricio de Oliveira e Silva, nascido em 1967, engenheiro eletricitista em 1995 pela Escola Politécnica da USP, trabalha atualmente com o uso racional e eficiente de energia elétrica no setor de iluminação pública, onde apresentará sua defesa para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia. Foi colaborador do Projeto CONSERVUSP.