



**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

## **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE UMA SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA BASEADO EM REDES DE SENSORES INTELIGENTES.<sup>1</sup>**

**Maurício de Campos<sup>2</sup>, Paulo Sérgio Sausen<sup>3</sup>, Airam Tereza Romcy Zago Sausen<sup>4</sup>, Manuel Martín Perez Reibold<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Resultados do projeto de pesquisa Desenvolvimento de Sistemas de Automação e Controle para Sistemas Elétricos desenvolvido pelo Grupo de Automação Industrial e Controle no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias.

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, coordenador do Grupo de Automação Industrial e Controle.

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, coordenador do Grupo de Automação Industrial e Controle e Coordenador do Programa de Mestrado em Modelagem Matemática.

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias.

<sup>5</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias.

### **Resumo**

As redes de sensores inteligentes não somente coletam dados, mas também desempenham processamento local, podendo inclusive atuar no sistema e, posteriormente, quando necessário realizam a sua transmissão. Em alguns casos, redes híbridas, que combinam sistemas sem fio com estruturas cabeadas, podem ser mais adequadas. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema que integra um conjunto de sensores inteligentes e sistemas de comunicação. Este sistema está aplicado em uma subestação de distribuição de energia elétrica subterrânea localizada na cidade de Porto Alegre no Brasil, e pertence ao sistema network. O principal desafio deste trabalho é o de estabelecer a comunicação do sistema instalado no interior da subestação com o exterior, ainda motivo pelo qual não existem soluções comerciais para este problema.

**Palavras-chave:** Redes de Sensores Inteligentes, Monitoramento, Subestação Subterrânea de Energia, Redes Híbridas, Sistema Reticulado.

A necessidade de instrumentação de processos, aliadas aos avanços na comunicação sem fio e na eletrônica, permitiram a concepção das redes de sensores sem fio (RSSF) (Sausen, 2007). A tecnologia aplicada a estes sensores, processamento e redes de comunicação, permitiu ainda a evolução destes sistemas, que passaram a ser denominados de redes de sensores inteligentes. Os sensores não somente coletam dados, mas também desempenham processamento local, podendo atuar no sistema e, posteriormente, quando necessário realizar a transmissão de dados. Estas redes de sensores inteligentes permitem um acompanhamento mais efetivo do sistema, e a detecção de falhas, melhorando assim sua confiabilidade e manutenção (Salvadori, 2009). Entre os desafios da concepção, desenvolvimento e instalação das redes de sensores inteligentes, podem-se destacar ambientes aonde as interferências



**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

eletromagnéticas reduzem o seu desempenho, podendo ainda torná-la inoperante (Salvadori, 2007). Nestes casos, redes híbridas que combinam sistemas sem fio com estruturas cabeadas podem ser mais adequadas (Sharma, 2008). Estas estruturas híbridas permitem ainda um melhor gerenciamento de energia destas redes, uma vez que, em alguns casos, o nó sensor pode ser instalado em locais de difícil ou nenhum acesso. Assim, a conexão física pode ainda ser utilizada como redundância do sistema de comunicação. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema integrando um conjunto de sensores inteligentes e sistemas de comunicação, para aplicação em uma subestação de distribuição de energia elétrica subterrânea. A subestação de distribuição de energia elétrica subterrânea escolhida pertence ao sistema network (reticulado) localizada na cidade de Porto Alegre no Brasil. A profundidade desta subestação varia de 4 a 5 metros, sob camadas de asfalto e concreto. Portanto, outro desafio deste trabalho foi estabelecer a comunicação do sistema instalado no interior da subestação com o exterior, uma vez que isto não é possível através de sistemas de rádio e não estão disponíveis meios físicos instalados para este fim.

O sistema desenvolvido (Figura 1) tem como base o conceito de sensores inteligentes. Os Módulos Sensores Inteligentes (MSI's) podem realizar a leitura de até quatro grandezas, sendo duas analógicas e duas digitais, comunicando-se através de uma rede sem fio e/ou uma rede física. Um segundo módulo desenvolvido foi utilizado para a aquisição das grandezas com dinâmicas rápidas e necessidade de leitura de mais de quatro grandezas como, por exemplo, as tensões e correntes do secundário do transformador. Este dispositivo é chamado de Unidade Remota de Aquisição de Dados (URAD). Os dados monitorados nestes dois sistemas são concentrados em um Gateway.

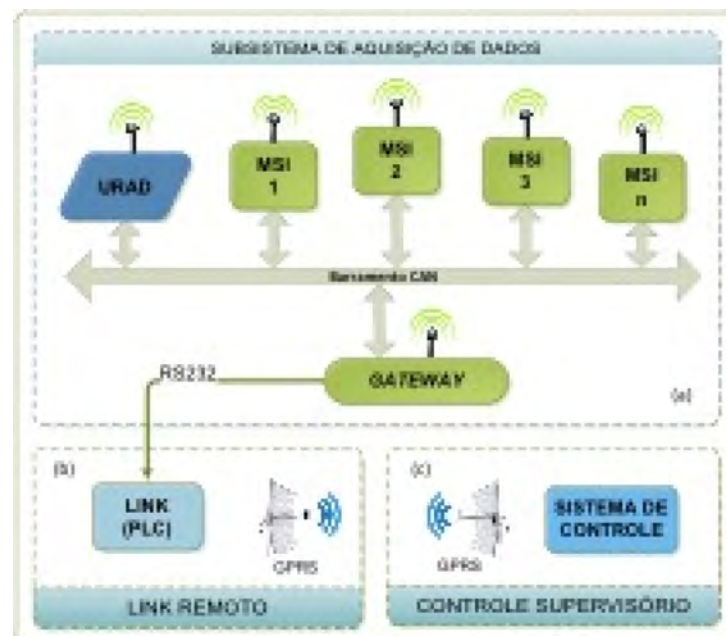


Figura 1 - Sistema de monitoramento desenvolvido.



**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

O Gateway estabelece a comunicação com o exterior. Como já foi afirmado, não é possível realizar esta comunicação através de um link de rádio ou de uma estrutura cabeada convencional, uma vez que as características da subestação não permitem a implantação destes sistemas. Assim, foi utilizado um sistema PLC, permitindo a extração dos dados daquele ambiente. Já na área externa, os dados são transmitidos por um sistema GPRS/3G, para um servidor. O sistema de monitoramento apresenta essencialmente os seguintes subsistemas (Figura 1): a) Subsistema de aquisição de dados; b) Link remoto; e c) Subsistema de controle.

### Modulo Sensor Inteligente - MSI's

Os MSI's são dispositivos capazes de realizar funções de sensoriamento, processamento e transmissão/recebimento de dados. Sua arquitetura consiste de um subsistema de energia, um subsistema de sensores e um subsistema de comunicação. O subsistema de sensores e o subsistema de comunicação são gerenciados por um microcontrolador PIC18F2580. Este foi escolhido devido às exigências de projeto e também pelo mesmo possuir integrado o hardware dedicado à comunicação CAN (Controller Area Network). Além disso, agrega suporte a vários periféricos, como por exemplo, conversor analógico-digital (A/D) de 10 bits, quatro temporizadores, interface serial USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), entre outros. Um protótipo do MSI foi desenvolvido (Figura 2) para validação experimental.



Figura 2 - Módulo Sensor Inteligente - MSI.

Cada MSI possui um endereço, atribuído pelo Gateway no momento da instalação da rede, organizando-se de forma autônoma (plug and play).

### Unidade Remota de Aquisição de Dados - URAD

A URAD (figura 3) é uma unidade de aquisição estática, projetada inicialmente para aquisição de três tensões e três correntes da subestação de energia. A URAD pode se comunicar com o Servidor Remoto (SR) via RS 232, RS 485, CAN ou via rádio. No caso da utilização da RS 485, rádio ou CAN, é possível a conexão de múltiplas URAD's para cada Link Remoto. É controlada através de um Processador Digital de Sinal (DSP), modelo TMS320F2812. O conversor A/D é de 12 bits e foi programado para fazer aquisição de 240 amostras por ciclo.



**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa



Figura 3 - Unidade Remota de Aquisição de Dados – URAD.

A URAD neste projeto é conectada via barramento CAN para comunicação com o Servidor Remoto, mas também possui um módulo de comunicação por RF (modelo TRF-24G) utilizado para realizar a comunicação com os dispositivos MSI e Gateway.

#### Gateway

Foi desenvolvido ainda um Gateway que é responsável por interconectar o conjunto de sensores (MSI's + URAD) e o sistema de transmissão PLC. A diferença essencial do Gateway para o próprio MSI é que existe adicionalmente uma porta de comunicação serial RS232 utilizada para realizar a interconexão com o PLC. O gerenciamento e endereçamento dos MSI's são realizados pelo Gateway, que por sua vez, atualiza e verifica constantemente a presença de novos MSI's que por ventura forem conectados ao barramento.

#### Modem PLC

O sistema PLC foi instalado na área do Centro de Porto Alegre, no cabeamento de baixa tensão da rede subterrânea. Consiste de um par transmissor/receptor PLC, desenvolvido a partir de um MODEM PLC PL-3120 de fabricação da ECHELON. O MODEM PLC PL-3120 incorpora um processador NEURON, 4 kbytes de memória de aplicação e 2 kbytes de RAM. O processador NEURON executa as rotinas do protocolo interconexão dos nós de uma rede PLC, ISI – Interoperable Self Installation, bem como os protocolos de comunicação, com opção de ativar ou não o protocolo CENELEC. Todos esses protocolos são proprietários e vêm gravados em memória ROM no dispositivo.

O sistema testado foi instalado no sistema network/reticulado da CEEE-D (Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica) na região metropolitana de Porto Alegre. O sistema de monitoramento (MSI's e URAD) foi instalado no reticulado nordeste (RNE), na caixa transformadora





**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

T-103-7A (código CEEE-D), o qual possui o alimentador 2RNE como supridor de energia. O Gateway desenvolvido gerencia o recebimento dos dados do sistema e é conectado ao transmissor de sinal PLC, na saída de baixa tensão do transformador. A distância aproximada entre este transmissor e o receptor é cerca de 250 metros, uma vez que não existe um caminho direto entre eles. Após a coleta pelos dados no servidor, os mesmos podem ser visualizados em tempo real em um sistema Web, e ainda em sistemas Android e IOS.

Este artigo apresentou um sistema de monitoramento desenvolvido para monitorar uma subestação subterrânea de distribuição de energia. Os avanços nos sistemas eletrônicos de comunicação e processamento, além do alto grau de integração presente, permitiu o desenvolvimento de um sistema de alto desempenho para estas aplicações. Entre os desafios desta aplicação, pode-se destacar a comunicação entre o interior da subestação monitorada e o meio externo. Ainda, considerando-se a dificuldade de acesso a este sistema, determinou a utilização de um sistema híbrido eliminando a necessidade de manutenção regular das baterias. O sistema ainda permite a sua aplicação em sistemas inteligentes e principalmente em aplicações de detecção de faltas no sistema subterrâneo reticulado. Um estudo mais detalhado do desempenho destes sensores será apresentado na versão final deste artigo.

Os autores agradecem o apoio da Companhia estadual de Distribuição de Energia Elétrica CEEE-D, ao programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, a UNIJUI, UFPB e a UFCG.

Sharma, G.; Mazumdar, R. R. (2008). A case for hybrid sensor networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 16 Issue 5, pp. 1121-1131. October 2008.

MODBUS. ORG. (2002). MODBUS over Serial Line Specification e Implementation guide. V1.0.

Richards, P. (2002) AN228 - A CAN Physical Layer Discussion. Microchip Technology Inc.

Salvadori, F.; Campos, M. de; Sausen, P. S.; Camargo, R. F. de; Gehrke, C.; Rech, C.; Spohn, M. A. and Oliveira, A. C. (2009). Monitoring in Industrial Systems Using Wireless Sensor Network With Dynamic Power Management. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 58, No. 9, pp. 3104- 3111.

Salvadori, F., Campos, M. Camargo, R.F., Gehrke, C., Rech, C., Sausen, P.S., Spohn, M. A., and Oliveira, A. (2007), "Monitoring and diagnosis in industrial systems using wireless sensor networks," in Proc. IEEE WISP 2007, pp. 1-6.

Sausen, P. S., Sousa, J. R. B., Spohn, M. A., Perkusich, A. and Lima, A. M. N.,(2007) "Dynamic power management with scheduled switching modes in wireless sensor networks," in 15th IEEE MASCOTS, Istanbul, Turkey, pp. 1-8.