



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

CB/GMI/16

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

**ANÁLISE PREDITIVA DE UNIDADES GERADORAS ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DO SISTEMA
DE SUPERVISÃO COM O SISTEMA DE MONITORAMENTO: EXPERIÊNCIA DA ELETROBRAS
ELETRONORTE NA UHE SAMUEL**

**Davi Carvalho Moreira(*)
Eletrobras Eletronorte**

**Daniel Simões Pires
Eletrobras Eletronorte**

**Danilo Gomes Matias
Eletrobras Eletronorte**

**Juliano Cortes de Souza
Eletrobras Eletronorte**

**José Adolfo da Silva Sena
Eletrobras Eletronorte**

**Ivaldo Monteiro Lobato
Eletrobras Eletronorte**

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar a solução de engenharia, de baixo custo e fácil implantação, adotada pela Eletrobrás Eletronorte (ELB/ELN) para monitoramento preditivo das suas unidades geradoras (Sistema de Monitoramento de Máquinas e Equipamentos - SIMME) e a sua integração com o sistema de supervisão das usinas. É apresentado o estudo de caso da Usina Hidrelétrica de Samuel (UHE Samuel) onde o SIMME foi integrado ao sistema de supervisão das usinas.

PALAVRAS-CHAVE

Análise Preditiva, Integração, Sistema de Supervisão, Sistema de Monitoramento, Usina Hidrelétrica.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – Eletronorte, sociedade anônima de economia mista e subsidiária da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás, é uma concessionária de serviço público de energia elétrica. Criada em 20 de junho de 1973, com sede no Distrito Federal, gera e fornece energia elétrica aos nove estados da Amazônia Legal – Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Por meio do Sistema Interligado Nacional – SIN, também fornece energia a compradores das demais regiões do País. Além de geradora e transmissora de energia, a Eletronorte presta os serviços de Operação e Manutenção em seus próprios ativos (usinas e subestações) e para terceiros (caso da Norte Energia responsável por Belo Monte).

O Centro de Tecnologia da Eletronorte é um órgão da Eletronorte responsável pela manutenção preditiva na empresa e a implantação de novas tecnologias em ensaios e monitoramento preditivo. O Centro de Tecnologia possui vários laboratórios de ensaios e calibrações que fornecem informações necessárias para a realização de previsões sobre quando um determinado equipamento deverá sofrer uma intervenção. O Centro de Tecnologia é responsável pelo desenvolvimento de novas tecnologias de medição, monitoramento e diagnóstico on-line de Equipamentos Elétricos de Potência. Ele é responsável pelo desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Máquinas e Equipamentos, SIMME [1].

2.0 - SIMME

O SIMME consiste em um conjunto de bancos de dados, softwares, aplicativos e dispositivos de aquisição de dados e fornece ferramentas de análise para os especialistas nos equipamentos monitorados para auxiliar na previsão de falhas e, portanto, no planejamento das manutenções.

2.1 Arquitetura do SIMME

Um diagrama simplificado da arquitetura do SIMME é ilustrado através da Figura 1.

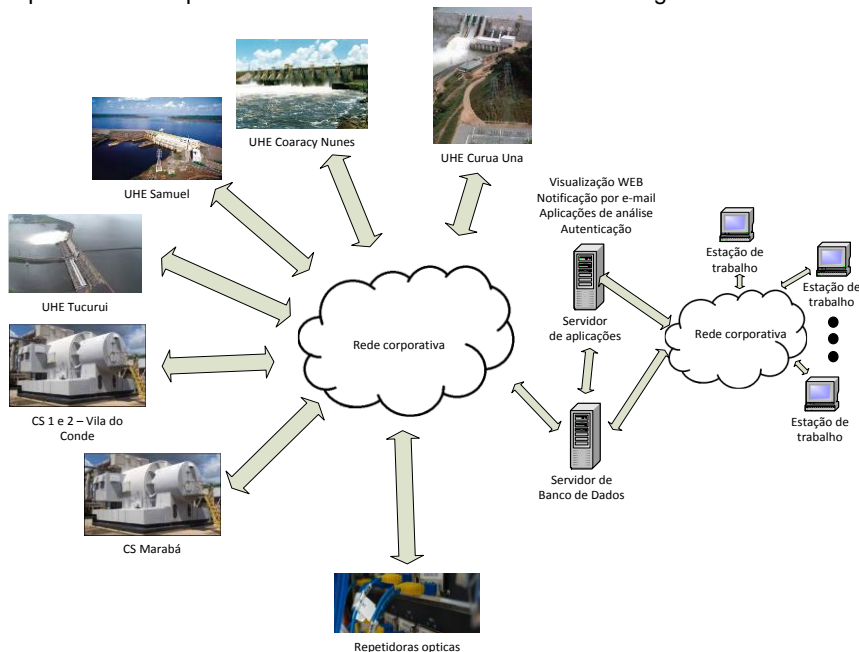


FIGURA 1 - Diagrama Simplificado da Arquitetura do SIMME

Ao analisar a Figura 1 pode-se visualizar que em cada instalação possui um sistema de aquisição de dados que está conectado a um servidor de banco de dados central.

Os usuários do SIMME possuem acesso às informações obtidas pelo sistema nas instalações através de um Servidor de Aplicações, onde são executados vários softwares que proveem vários serviços a estes usuários. Na Figura 2 a tela do SIMME com para visualização dos dados de monitoramento de equipamentos por instalação.



FIGURA 2 - Visualização pela WEB

Na Figura 1 é apresentada a funcionalidade do SIMME referente ao sistema de notificação por e-mail quando atingido o valor de alarme pré-ajustado.

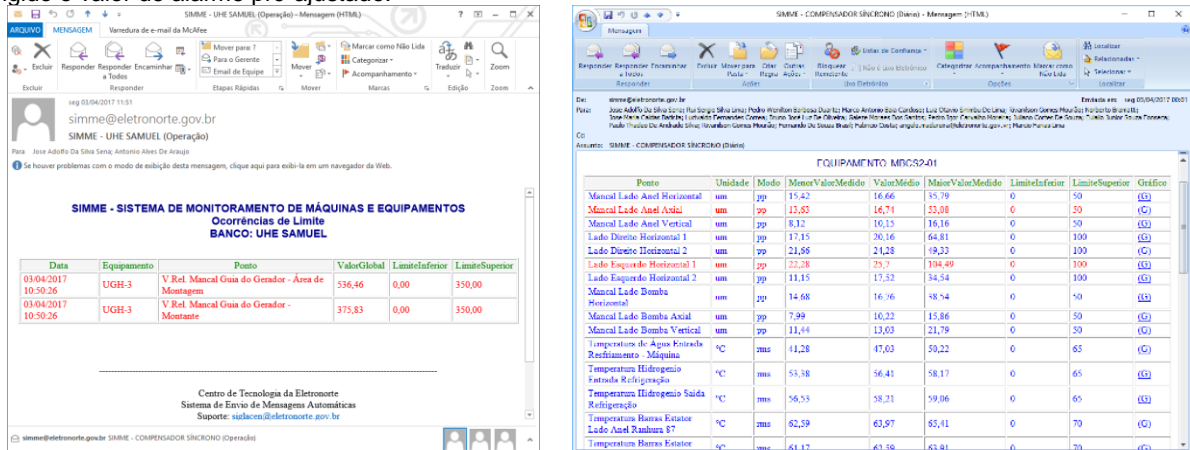


FIGURA 2 – Notificações e Relatórios por E-mail

Na Figura 4 são mostradas algumas telas utilizadas para análises de dados do SIMME.

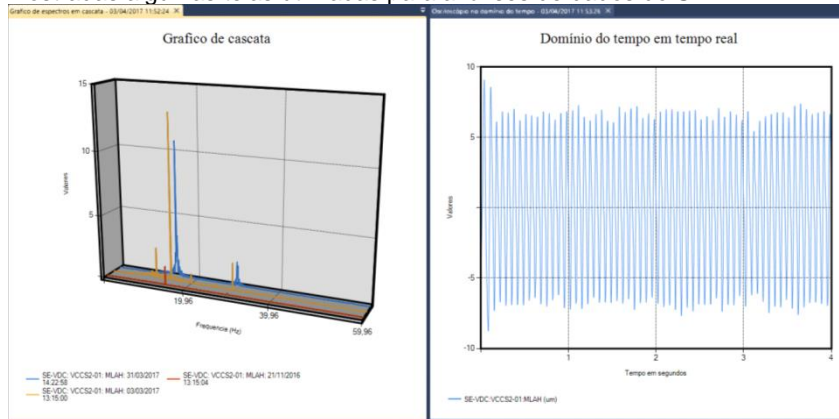


FIGURA 3 - Software de Análise

2.2 Aquisição de dados no SIMME

Em cada instalação (usina, subestação e repetidoras ópticas) existe um conjunto de hardware e software responsável pela aquisição de dados do SIMME. Através da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentada a arquitetura interna do SIMME presente em cada uma das instalações monitoradas na ELB/ELN.

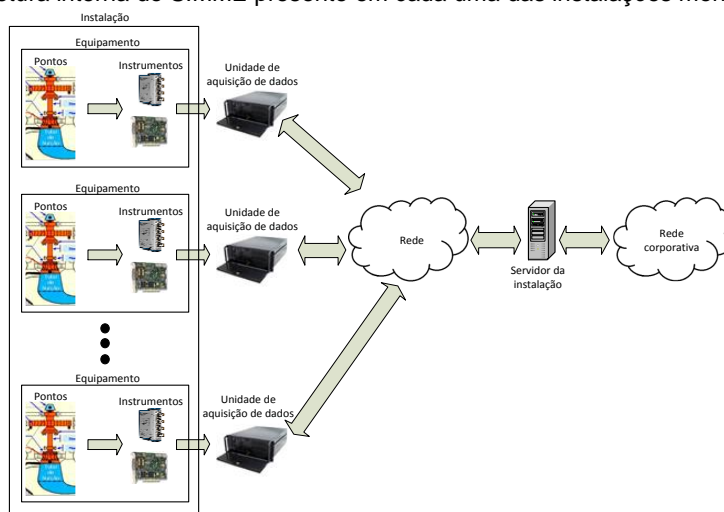


FIGURA 4 - Arquitetura Interna de Aquisição de Dados

Em cada instalação da ELB/ELN existem os vários equipamentos monitorados, por exemplo, na UHE Samuel as cinco unidades geradoras são monitoradas pelo SIMME. Em cada unidade geradora, existem um conjunto de sensores, alojados em locais estratégicos, que estão conectados aos instrumentos que realizam as medições e as convertem em um formato digital. Estas medições são coletadas em computadores industriais que executam o software de aquisição de dados (este software é um dos componentes do SIMME). O conjunto software de aquisição de dados e computador industrial, no SIMME, é chamado de “Unidade de Aquisição de Dados”. As “Unidade de Aquisição de Dados” do SIMME é capaz de comunicar-se com um grande número de tipos de instrumentos e um grande número de protocolos de comunicação.

O SIMME trabalha com a forma de onda dos sinais obtidos nos sensores (sinais dinâmicos) para que o especialista faça suas análises nos domínios do tempo e da frequência. Os requisitos de redes de comunicação e velocidade de processamento do SIMME são muito mais exigentes que um sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Aquisition*) convencional. Enquanto um sistema SCADA típico realiza uma medição a cada cinco segundos de uma determinada grandeza, o SIMME realiza pelo menos mil medições por segundo para cada grandeza mensurada, ou seja, os sistemas SCADA típicos trabalham com valores médios calculados em grandes intervalos de tempo (em segundos) e o SIMME trabalha com formas de onda com valores instantâneos obtidos em intervalos de tempo da ordem de unidades de milissegundos, como ilustrado na Figura 6.

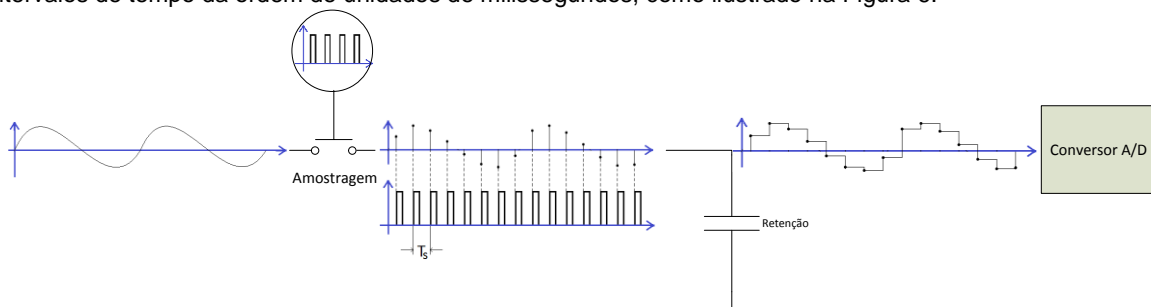


FIGURA 6 - Processo de Aquisição de Forma de Onda

Apesar de serem formas diferentes de medições, existe uma relação entre as medições realizadas em um sistema SCADA e as medições realizadas no SIMME. Por exemplo, um sistema SCADA pode ter como uma das informações medidas a tensão em uma determinada fase em um barramento, esta tensão é um valor médio quadrático calculado a partir da forma de onda desta tensão, como na FIGURA .

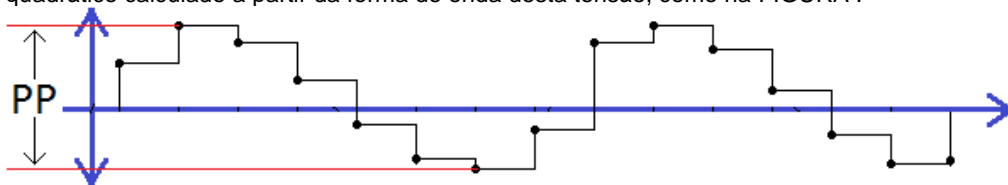


FIGURA 7 - Forma de Onda Digitalizada

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} [x^2(0) + x^2(1) + \dots + x^2(n-1)]} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x^2(k)} \quad (1)$$

Caso o SIMME fosse empregado para medir esta mesma tensão, ele obterá a forma de onda da tensão, na forma de um vetor x onde cada elemento é uma amostra da forma de onda da tensão. Caso o usuário tenha configurado o SIMME para calcular valores RMS, então ele aplicaria a equação 1 e obterá o mesmo valor medido pelo sistema SCADA. No entanto, como o SIMME obtém a forma de onda, ele apresenta também ao usuário, se este assim desejar, a forma de onda e o espectro da tensão afim de que análises mais detalhadas possam ser feitas (por exemplo avaliar quais as componentes harmônicas presentes nesta fase do barramento).

Portanto, as formas de onda obtidas pelo SIMME estão relacionadas às medições utilizadas pelos sistemas SCADA através de operações matemáticas que resultam em números que, no SIMME, são chamados “Valores Globais” e que podem ser valores “Pico-a-Pico”, “Pico”, “RMS”, “Valor médio”, etc. que são calculadas para compor curvas de tendência.

O software de aquisição de dados do SIMME classifica os instrumentos com os quais ele se comunica em:

1. Instrumentos que fornecem formas de onda;
2. Instrumentos que fornecem apenas valores globais.

O SIMME classifica como instrumento que fornece apenas valores globais, instrumentos que se comunicam através de protocolos de campo (*Modbus*, *Fieldbus*, *Profibus*, entre outros). Também são classificados como instrumentos que fornecem apenas valores globais, sistemas que utilizam OPC Servers e sistemas SCADA como o SAGE.

Os valores globais calculados pelo SIMME, a partir de formas de onda, são disponibilizados através do protocolo Modbus/TCP. Qualquer sistema SCADA que reconheça o protocolo Modbus/TCP é capaz de obter os valores globais medidos pelo SIMME. Resumindo, o SIMME é capaz de comunicar-se com os sistemas SCADA nos dois sentidos, fornecendo informações aos sistemas SCADA e obtendo informações dos sistemas SCADA, foi esta característica do SIMME que viabilizou a integração do sistema de monitoramento preditivo (SIMME) com o sistema de supervisão da UHE Samuel (BluePlant). Um diagrama em blocos simplificado do software de aquisição de dados do SIMME é apresentado através da Figura 8.

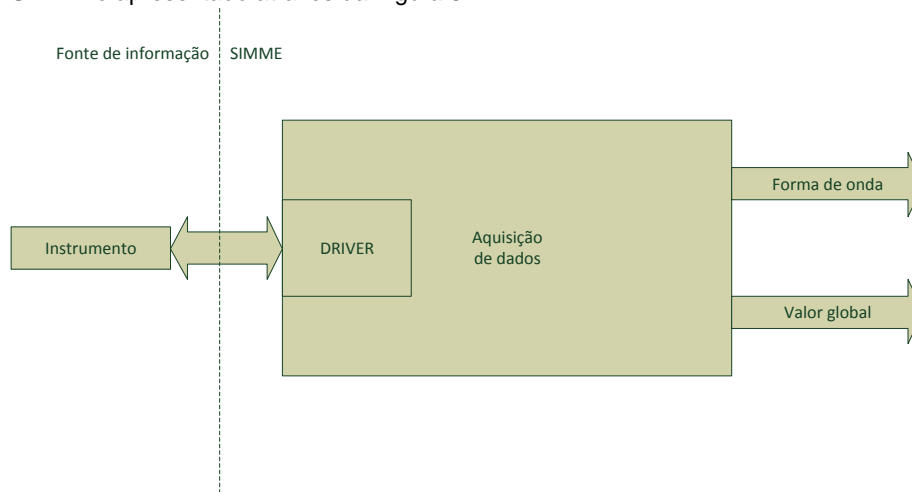


FIGURA 8 - Diagrama em blocos simplificado do software de aquisição de dados do SIMME

O software de aquisição de dados do SIMME comunica-se com a fonte de informação (instrumento) através de um “*Driver de Dispositivo*”. O driver de dispositivo é responsável por traduzir o protocolo de comunicação dos instrumentos para o protocolo interno do SIMME. Para cada tipo de instrumento, existe um driver específico, já estão desenvolvidos *drivers* para diversos protocolos de campo, OPC Server, SAGE, etc.

O software de aquisição do SIMME sempre solicita ao *driver* de dispositivo uma *Forma de onda* e um *Valor global*, caso o instrumento utilize um protocolo de campo ou for um sistema SCADA, a *Forma de onda* será vazia. Através da Figura 9, é ilustrado como um instrumento com o nome “*Supervisorio*” foi configurado para interrogar uma distribuição Modbus/TCP implementado utilizando o software BluePlant existente na UHE Samuel. Na mesma figura deve-se observar que o *driver* de dispositivo a ser empregado é definido no campo “*Tipo de instrumento*”. Os canais foram configurados como ilustrado através da Figura 10, onde está destacado o canal TMMG cujo registrador é o 400034 com formato WD que corresponde a um inteiro de 16 bits.

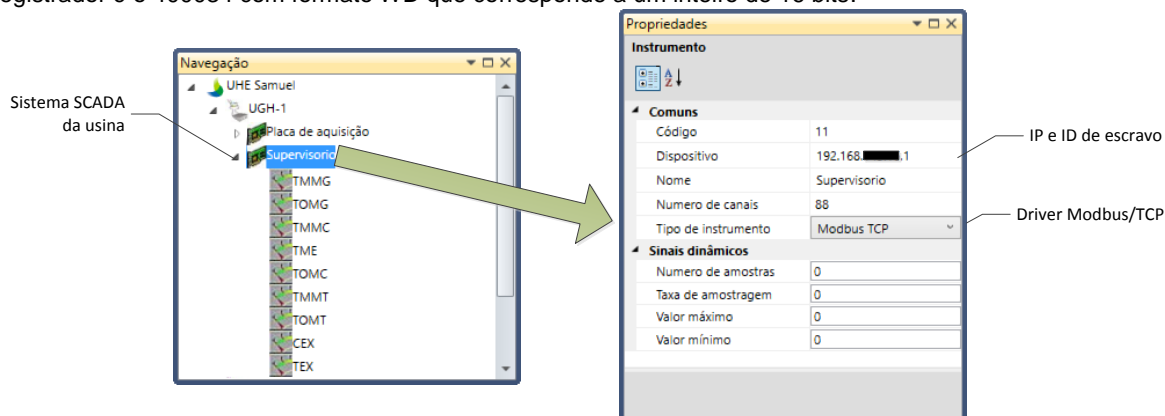


FIGURA 9 - Configurando instrumento no SIMME para obter informações de sistema SCADA

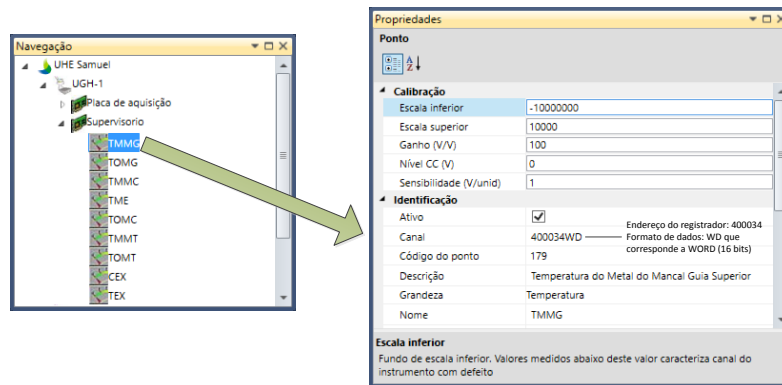


Figura 10 - Configuração de um ponto de medição obtido do sistema de supervisão

Cada unidade de aquisição de dados do SIMME (computador industrial) comporta-se como um nó em uma rede Modbus/TCP e cada canal configurado no SIMME corresponde a um registrador, cujos valores são as medições multiplicadas por 100. Para um sistema SCADA ter acesso às medições do SIMME, deve-se configurá-lo com o IP do computador do SIMME e o ID de escravo deve ser sempre igual a 1 e os valores das tags devem ser divididos por 100 (escalonamento linear), como ilustrado através da Figura 11.

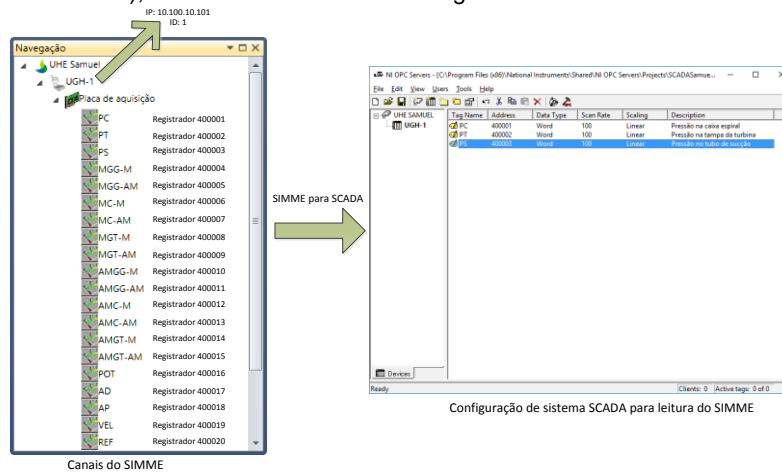


FIGURA 11 - Configurando um sistema SCADA para obter medições do SIMME

2.3 Software de análise

O SIMME possui um software de análise e parametrização do sistema que incorpora os conceitos de interface de usuário mais atuais no momento, cujo nome é SimmeCliente. A interface de usuário deste software é ilustrada através da Figura 12.

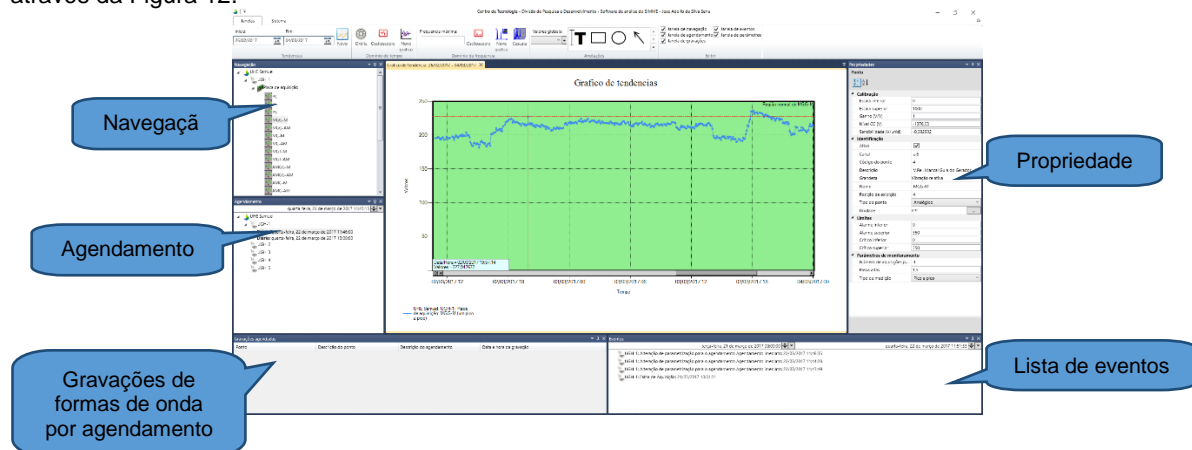


FIGURA 12 - Software de Análise: Tendências

Na Figura 12, o usuário está realizando uma análise da tendência do deslocamento do eixo no mancal guia do gerador na direção da montante (MGG-M). A análise da tendência é, normalmente, a primeira análise a ser feita pelo especialista. Ao analisar uma curva de tendência, o analista pode estimar quando o equipamento precisará de intervenção.

Outro recurso do SIMME é a gravação de formas de onda quando um evento ocorrer e o agendamento de gravações. Quando uma determinada condição é satisfeita um evento de “*violação de regra*” é gerado e as formas de onda são gravadas. Caso hajam gravações agendadas, eventos de gravações de formas de onda também são geradas. Na Figura 13 é ilustrado este recurso.

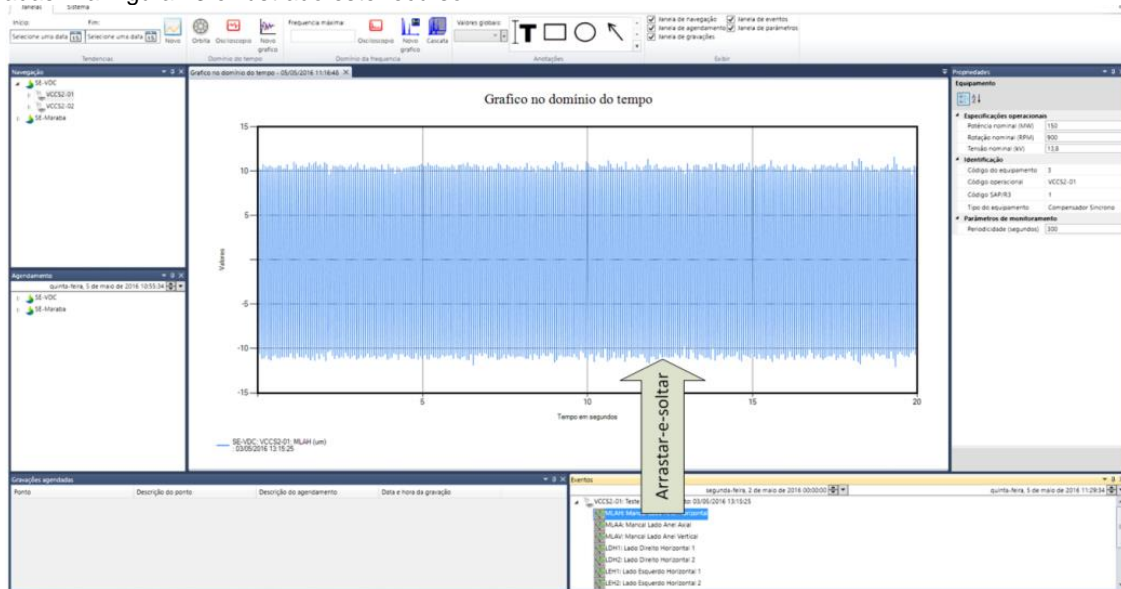


FIGURA 13 - Visualização de Gravação de Forma de Onda

Existe o gráfico no domínio da frequência, onde uma forma de onda gravada é visualizada na forma espectral, como ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

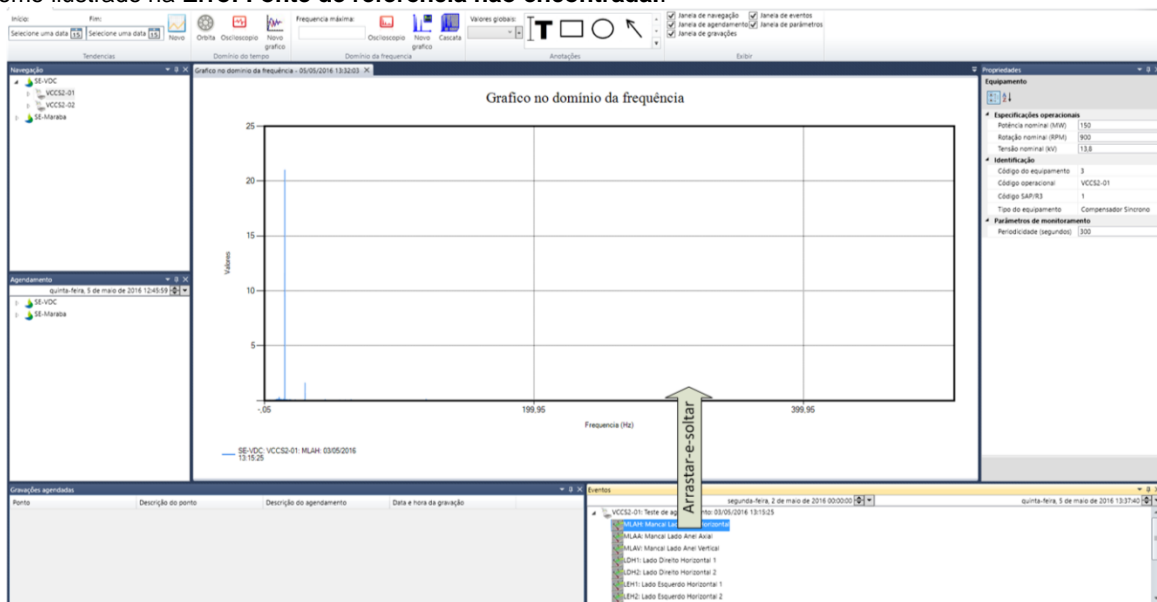


FIGURA 14 - Visualização do Espectro de uma Forma de Onda Gravada

A análise da tendência, como ilustrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**, permite ao especialista estimar quando o equipamento necessita de uma intervenção. As formas de onda no domínio do tempo, ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**, e no domínio da frequência, ilustrado através da **Erro! Fonte de referência não encontrada..**, permite ao especialista determinar em que parte da máquina está o defeito (desbalanceamentos, polos, distribuidor, pás, etc.) uma vez que cada parte da máquina contribui com uma componente harmônica no espectro.

A forma de onda no domínio do tempo e da frequência pode ser acompanhado em tempo real através de um recurso do SimmeCliente chamado de osciloscópios, como ilustrado na Figura 15.

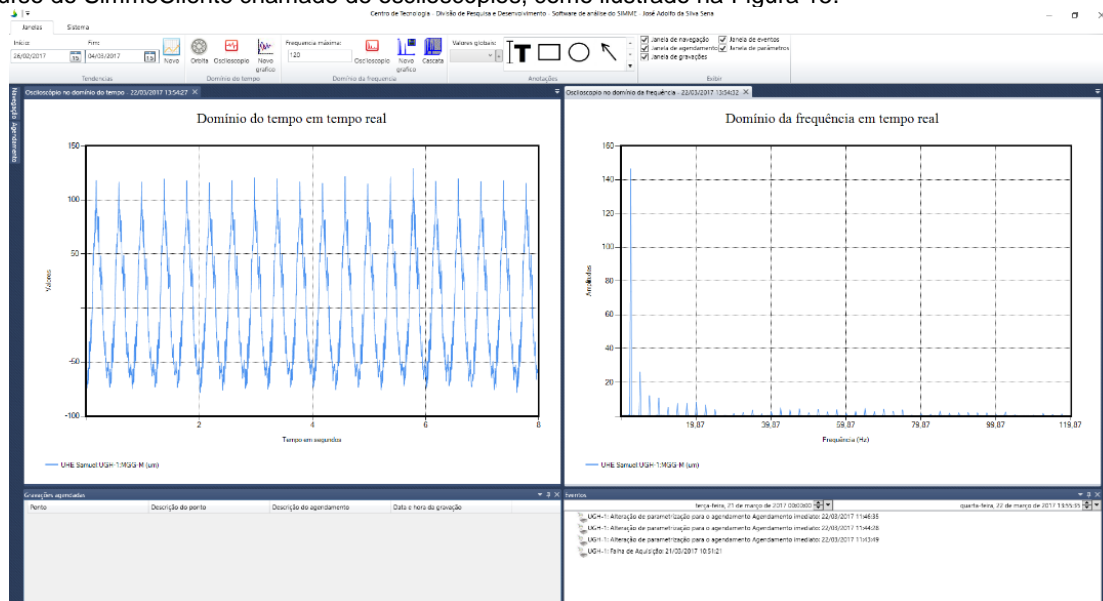


FIGURA 15 - Formas de Onda nos Domínios do Tempo e da Frequência em Tempo Real

3.0 - CONCLUSÃO

O SIMME surgiu de um esforço das equipes de manutenção preditiva da Eletronorte, em uma época em que tais sistemas comerciais eram incipientes. Na UHE Samuel, o SIMME, foi integrado ao sistema supervisivo da usina permitindo a utilização de várias grandezas da supervisão para uma análise mais precisa do estado do equipamento.

Existem muitos outros recursos no SIMME para análise preditiva, no entanto, não há espaço suficiente para descrição de todos. Em futuros trabalhos outros recursos do SIMME serão descritos assim como os resultados obtidos pela sua utilização.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SENA, J. A. S., MOREIRA, P. I. C., BRAMATTI, N., FRANÇA, A. L. C., SANTOS, G. M., “Manutenção Baseada na Condição: A Experiência da Eletrobrás – Eletronorte Com o Sistema SIMME no Contexto do TPM”, XXI SNPTEE, Florianópolis, 23 a 26 de outubro de 2011.
- [2] MOREIRA, D.C., PIRES, D.S., MATIAS, D.G., FULBER, H., MERLIN, B. – “Modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da UHE Samuel: Desafios Encontrados, XXIII SNPTEE, Foz do Iguaçu, 18 a 21 de Outubro de 2015.
- [3] IEEE Std 1147-1991 – “IEEE Guide for the Rehabilitation of Hydroelectric Power Plants” – Junho de 1991.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



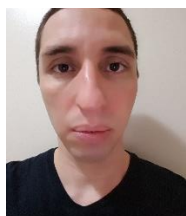
Davi Carvalho Moreira nasceu em Macapá, Amapá, em 1982. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2004), especialização em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Potência pelo Instituto Superior Tupy (2015), especialização em Engenharia de Produção pela FATEC (2011), MBA em Planejamento e Gestão Estratégica (2013) e MBA em Assessoria Executiva (2014) pela UNINTER. Já atuou como gerente do setor de supervisão da qualidade (2008-2011) e gerente da divisão de engenharia (2012), ambos na UHE Tucuruí. Coordenou o projeto de modernização do SPCS da UHE Samuel. Atualmente atua como engenheiro de manutenção elétrica das usinas de Tucuruí, Belo Monte, Pimental, Samuel, Curuá-Una e Coaracy Nunes. Membro do CIGRÉ-Brasil.



Daniel Simões Pires nasceu em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, em 1973. Possui graduação em Administração pela Faculdade São Lucas (2006), curso Técnico em Eletrônica pelo Colégio Santo Inácio em Porto Alegre (1993). Atua como técnico de manutenção eletrônica (comando, controle e proteção) na UHE Samuel desde 2005 e atualmente coordena a equipe de comissionamento do projeto de modernização do SPCS da UHE Samuel.



Danilo Gomes Matias nasceu em Araguari, Minas Gerais, em 1983. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2006). Atua desde o ano de 2007 como engenheiro de projetos e construção dentro da Gerência de Engenharia Eletromecânica da Geração da Eletrobras Eletronorte, onde tem trabalhado no projeto, especificação e controle da qualidade de Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão em Usinas Hidrelétricas, Térmicas e Eólicas.



Juliano Cortes de Souza possui graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU em 2004, atua na área de automação da Eletrobras Eletronorte e atualmente está envolvido em projetos de telecomando de usinas e integração de sistemas.



José Adolfo da Silva Sena nasceu na cidade de Belém, Pará, no ano de 1974. Graduou-se em 1998 pela Universidade Federal do Pará em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica, em 2001 concluiu o Mestrado em Engenharia Elétrica na área de Instrumentação Eletrônica na Universidade Federal de Campina Grande, em 2012 obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará. Atuou na área de ensino no Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM) no curso de Engenharia de Telecomunicações, na UFPA atuou como pesquisador e professor do quadro efetivo até 2006 onde pesquisou e lecionou disciplinas relacionadas à Eletrônica. Ingressou na Eletrobras Eletronorte em 2007 no Centro de Tecnologia, até o momento, como Engenheiro de Manutenção Eletrônica.



Ivaldo Monteiro Lobato possui curso técnico em Eletrônica pelo Instituto Federal do Pará (1988), graduação em Matemática pela Universidade Federal do Pará (1999), especialização em Redes de Computadores (2000) e em Engenharia Elétrica com Ênfase em Automação de Sistemas Elétricos de Potência (2006) pela UFPA. Atualmente atuando nas áreas tratamento de alarmes, sistemas inteligentes, monitoramento e automação de sistema elétricos da Eletrobras Eletronorte.