



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

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDOS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

SCADA HARMÔNICO PARA ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO HARMÔNICA EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

Maurício Aredes
COPPE/UFRJ
aredes@lemt.ufrj.br

**Sergio Luiz lasbeck
Gonçalves**
FURNAS CE SA
sergioig@furnas.com.br

**Mamour Sop
Ndiaye**
COPPE/UFRJ
mamour@lemt.ufrj.br

**Daniel Mendes
Fernandes**
COPPE/UFRJ
dmendes@lemt.ufrj.br

**Emanuel van
Emmerik**
COPPE/UFRJ
emmerik@lemt.ufrj.br

RESUMO

Nos últimos anos, as unidades de filtros passivos da estação conversora de Ibiúna, sintonizadas nos 3º e 5º harmônicos, vêm sofrendo problemas de sobrecargas. Considerando que estes harmônicos não são característicos de um conversor a 12 pulsos como o de Ibiúna, é razoável imaginar que a origem da sobrecarga é externa à estação. A identificação desta origem é o primeiro passo para a solução do problema, especialmente se for levado em conta o elevado número de caminhos chegando à barra de 345 kV, na qual estão conectados os filtros. Este artigo descreve uma arquitetura de um sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) composto de um hardware, rede de dados e um software. Este sistema será capaz de identificar a propagação de harmônicos na SE de Ibiúna.

PALAVRAS-CHAVE: SCADA, Propagação harmônica, Qualidade de energia elétrica, HVDC

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema de transmissão em corrente contínua (HVDC) de Furnas, constituído pelas Estações Conversoras de Foz do Iguaçu e Ibiúna e suas linhas de transmissão CC de +/- 600 kV, completou recentemente 20 anos de operação plena. Inicialmente e até algum tempo atrás, os filtros do pátio de corrente alternada da Estação de Ibiúna para filtragem de correntes harmônicas em frequências características e não-características do sistema HVDC funcionaram de maneira adequada e eficiente. Contudo, problemas de sobrecorrentes nos filtros de 3º e 5º harmônicos vêm ocorrendo nos últimos anos, causando sérios riscos para a operação do sistema HVDC.

Ao longo dos últimos anos foram identificadas diversas ocorrências de sobrecarga harmônica em filtros do sistema de corrente contínua de FURNAS. Existem registros de sobrecarga harmônica nos filtros de 3º e 5º harmônicos, com conseqüente desligamento destes, até mesmo com o elo CC sistema de transmissão em corrente contínua fora de operação, o que caracteriza um problema com forte influência de fatores externos à subestação. Tal problema tem obrigado a utilização contínua e simultânea dos 2 filtros desta sintonia, em desacordo com o projeto original que previa a utilização de apenas um dos filtros, ficando o outro como reserva. Isto dificultava severamente a realização de manutenções preventivas, até que em 2007 entraram em operação mais dois novos filtros de mesma característica (3º e 5º harmônico). Adicionalmente, a indisponibilidade total dos filtros deixa o Sistema de Corrente Contínua vulnerável, sendo necessário reduzir a potência transmitida, o que em termos práticos significa interromper a sua operação, o que pode levar à necessidade de corte de carga no sistema interligado nacional.

Existem fortes dúvidas sobre a origem e causa destas distorções harmônicas, incluindo até hipóteses de possíveis poluições vindas de consumidores ou distribuidoras conectadas ao sistema de Furnas. Há que se supor que a configuração da rede e suas características de carregamento sofreram mudanças imprevisíveis ao longo desses vinte anos naquela região. Identificar o agente decisivo, que na cronologia dos fatos se caracterizou como o

principal causador dos atuais problemas de qualidade de energia na região de Ibiúna é tarefa árdua. O fato é que filtros passivos significam "curto-circuito" nas suas frequências de sintonia e oferecem um caminho natural para as correntes harmônicas provenientes não somente do sistema HVDC, mas também de fontes geradoras de correntes harmônicas externas à subestação [1].

Este artigo tem como objetivo a implementação de um sistema SCADA de maiores dimensões na estação de Ibiúna, capaz de medir de forma sincronizada as correntes em um número maior de pontos na SE, incluindo as ilhas dos filtros e as salas de controle dos bipólos.

2.0 - TOPOLOGIA DA SE IBIÚNA

O sistema HVDC de Ibiúna é responsável pelo fornecimento de 6300 MW da SE. A outra metade é transmitida através da rede CA de 765 kV. A SE de Ibiúna é composta de três setores principais: um sistema HVDC de ± 600 kVdc, uma linha de 500 kVac e de 345 kVac (pátio de manobra). A Figura 1 e a Figura 2 mostram respectivamente, a localização da SE e o diagrama unifilar do sistema completo de 345 kV.

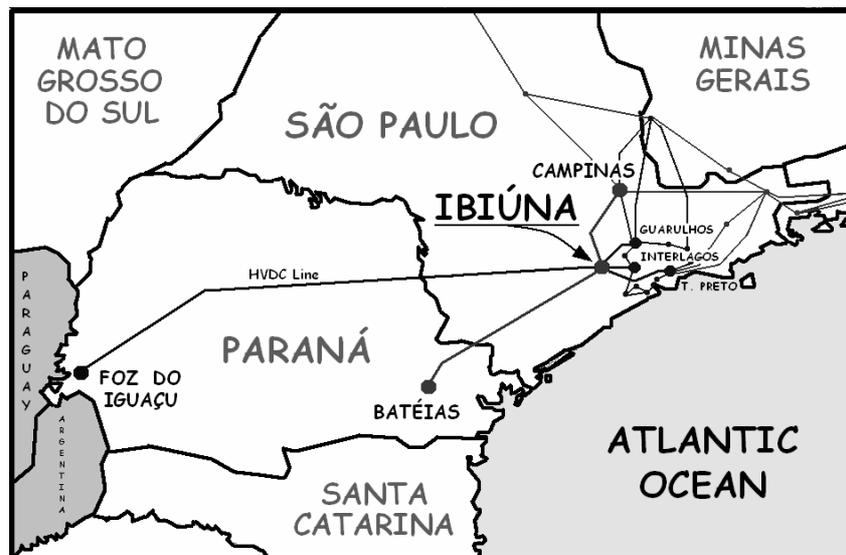


Figura 1: Localização da SE Ibiúna

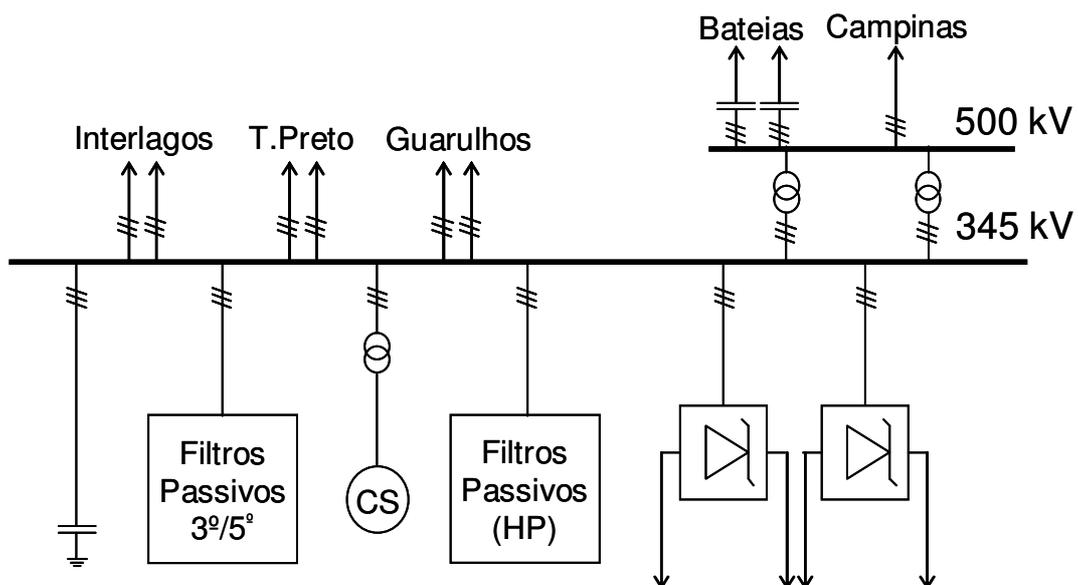


Figura 2: Diagrama simplificado do sistema de 345 kV

3.0 - REQUISITOS DE SINCRONISMO NO TEMPO

Uma das bases do método proposto é a lei de Kirchhoff das correntes. Como a soma das correntes chegando ou saindo de um determinado ponto do circuito é nula, é possível expressar a corrente do equipamento m a ser protegido em termo dos outros equipamentos conectados no mesmo ponto.

$$i_m(t) = -[i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) + \dots + i_{m-1}(t)] \quad (1)$$

A análise no domínio da frequência é utilizada para separar os componentes harmônicos. No entanto, magnitudes e ângulos obtidos a partir da transformada de Fourier só têm sentidos se todas as correntes em (1) forem medidas de maneira sincronizada em todos os equipamentos. A Figura 3 mostra uma forma de onda senoidal medida em diferentes períodos. As amostras de dados contêm um ciclo completo em ambos os casos, mas a segunda medição está atrasada de $\frac{1}{4}$ de ciclo em relação à primeira. Este caso ilustra um exemplo de falta de sincronismo. A magnitude pode ser obtida com precisão, mas a fase é calculada com um erro de 90° , invalidando assim quaisquer análises baseadas em fasores [2].

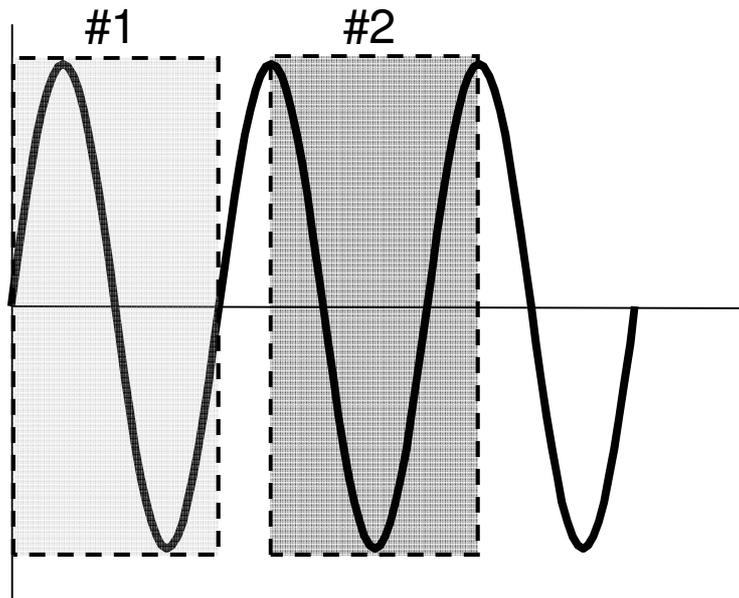


Figura 3: Exemplo de discrepância por falta de sincronismo na medição

O sistema SCADA proposto é aplicado principalmente para detectar a propagação do quinto harmônico (300 Hz). Neste caso, um milissegundo de atraso nas medições resultaria em um erro de 108° na análise no domínio da frequência. Uma vez o sincronismo garantido, pode se aplicar a lei de Kirchhoff das correntes e avaliar quais os harmônicos estão contribuindo mais para a sobrecarga de *um equipamento m*, e obter o diagrama fasorial com exatidão (Figura 4)

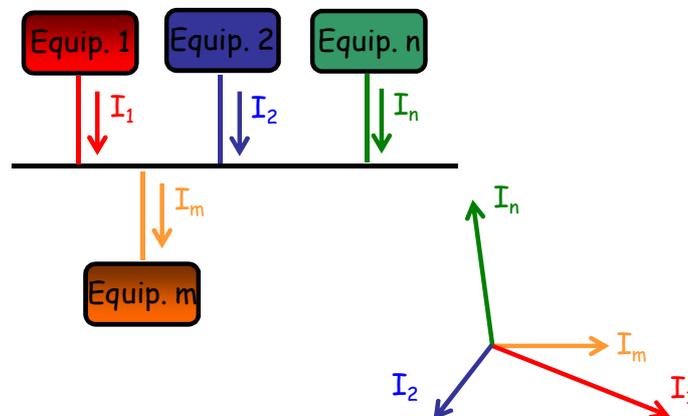


Figura 4: Exemplo de cálculo da propagação harmônica em um equipamento

4.0 - SISTEMA SCADA

O Sistema SCADA proposto tem dois objetivos principais: sinalizar aos operadores da SE de Ibiúna quais as linhas que estão sobrecarregando os filtros e coletar dados que poderão servir de análise eventual para o ONS. Convém também salientar que o sistema irá medir correntes em apenas uma das três fases, devido a limitações no número de unidades. Os dados serão recolhidos e transferidos para o servidor principal a cada 15 segundos. O sistema SCADA Harmônico a ser desenvolvido neste trabalho é composto de quatro tipos de equipamentos: Unidade de Aquisição de Sinais (UASs), Concentradores de dados com entrada para GPS [3] [4], Switch Ethernet e um servidor central. A Figura 5 mostra o diagrama geral do sistema SCADA a ser implementado na SE Ibiúna.

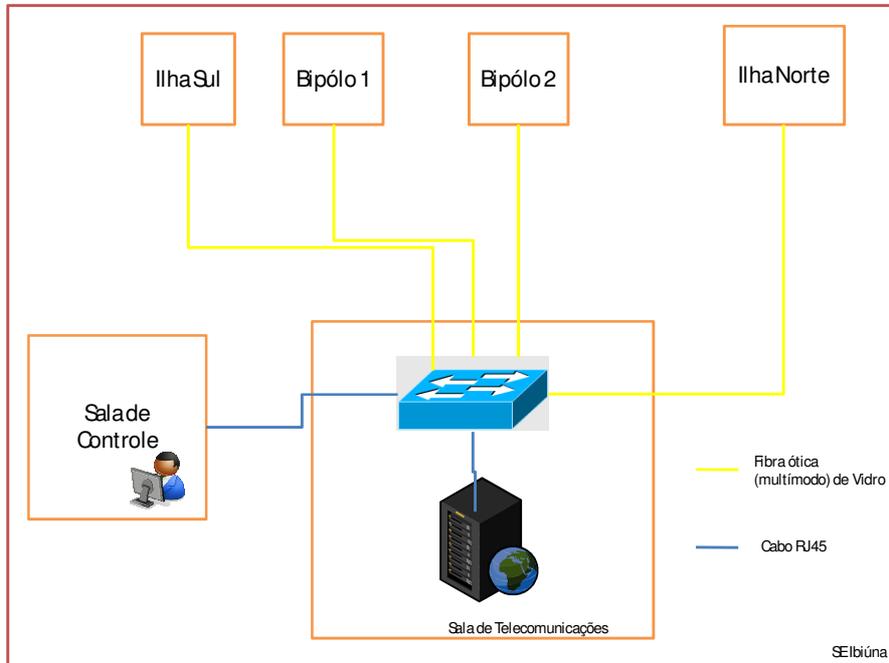


Figura 5: Diagrama Geral do sistema SCADA

4.1 Unidade de aquisição de sinais (UAS)

As UASs são os equipamentos responsáveis pela medida dos sinais de corrente e tensão de cada TP e TC de interesse. Cada UAS possui dois canais de entrada: uma para medição de tensão e uma para medição de corrente. As faixas de medida são variáveis devido à existência de TPs e TCs de diversas relações de transformação e diversas faixas nominais diferentes. A Figura 6 ilustra o diagrama de blocos da UAS.

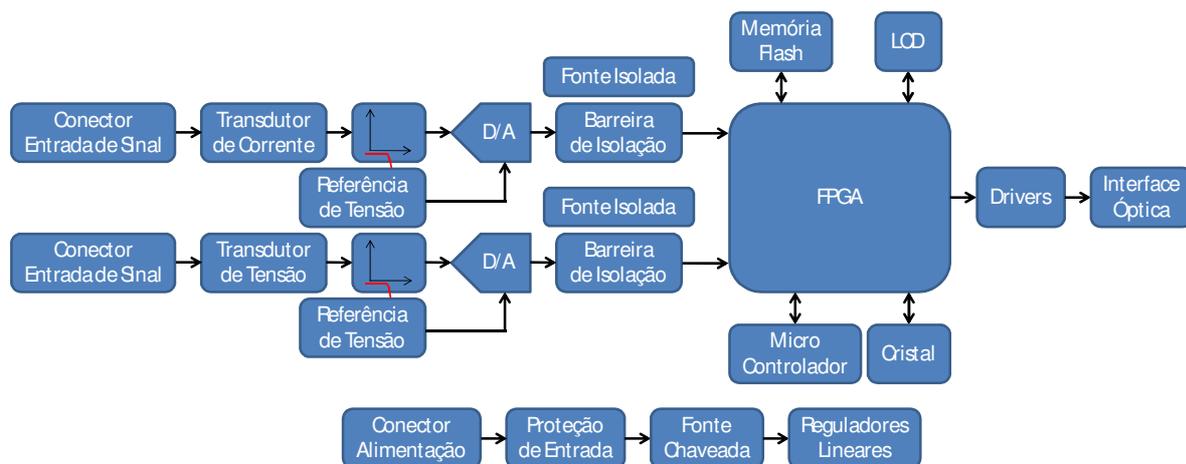


Figura 6: Diagrama de blocos da unidade de aquisição de sinais

Essas unidades possuem um conjunto de processamento e conversão de sinais composto por uma FPGA (Field Programmable Gate Array), um chip de lógica digital que fornece toda a temporização para os conversores A/D, além de transmitir os dados para a interface óptica e controlar o display do equipamento. Possuem ainda um

microcontrolador, que é responsável pela leitura em tempo real da corrente média do equipamento, um cristal de referência local, uma memória flash contendo dados gráficos do display, o próprio display, os drivers da interface óptica e a própria interface óptica, que transporta em um sentido a referência de tempo e no outro sentido os dados adquiridos.

4.2 Concentradores de dados

Os concentradores de dados se comunicam com até nove UAS para coletar seus dados e transmiti-los por Ethernet. Possuem 18 conectores de POFs (Plastical Optical Fibers - 2 para cada UAS), entrada por bornes com parafuso para a alimentação, entrada para GPS (para sincronização dos relógios) e saída Ethernet 10/100 (RJ45). A coleta e transmissão de dados são compostas por uma interface óptica pela qual os sinais de até nove UAS são coletados, drivers comandados pela FPGA, um GPS (e sua respectiva antena) responsável por captar a referência de tempo do satélite, um processador responsável por encapsular os dados coletados em pacotes que possam ser transmitidos pela rede, um módulo conversor de mídia (PHY) e um conector RJ45 com toda a parte de filtragem e isolamento eletromagnética já integrada. A Figura 7 mostra o diagrama de concentrador de dados.

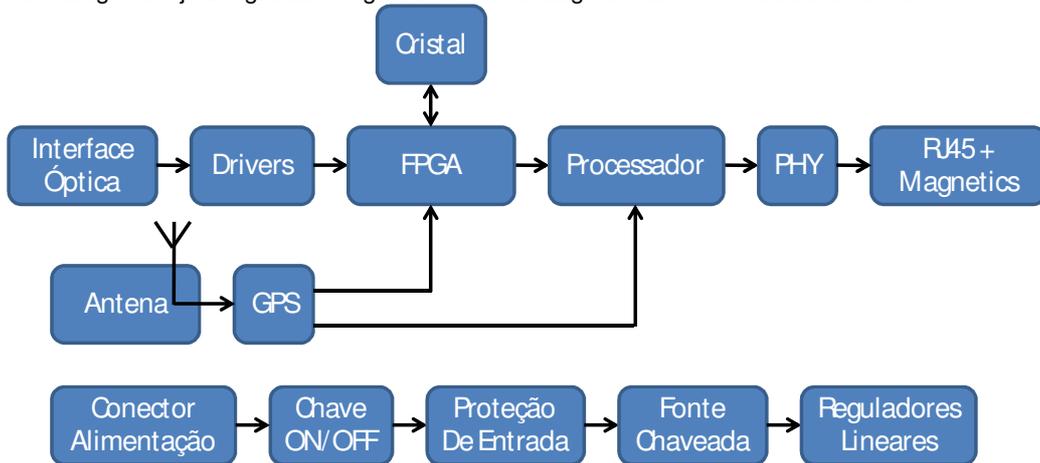


Figura 7: Concentrador de dados

4.2 Transmissão de dados

A transmissão de dados entre o servidor central que fica na sala do controle as diferentes localizações (Filtro ilha Norte, filtro Ilha Sul, Bipolo 1 e Bipolo 2) é feito por intermédio de uma fibra óptica monomodo. A taxa de dados está estimada em 11 Mbps. O tipo de Switch recomendado para este tipo de trabalho é o Store and Forward (armazena e encaminha). Este tipo de switch tem uma latência relativamente alta comparada com os switches Cut-through (encaminhar sem verificação), porém a taxa de erros destes switches é bem menor e o atraso pode ser corrigido por software. A topologia adotada é apresentada na Figura 8 [5] [6].

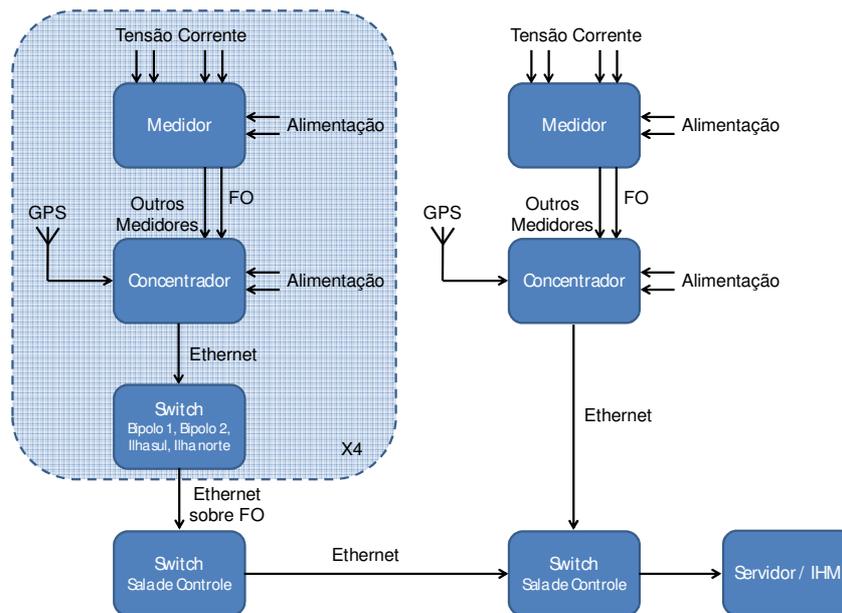


Figura 8: Arquitetura geral do sistema SCADA

5.0 - EXEMPLO SIMPLIFICADO

Um exemplo de apresentação dos dados é ilustrado na Figura 9. Nela, existem cinco formas de onda de corrente devidamente sincronizadas. Depois, foi feito a FFT de cada corrente e foram extraídos os harmônicos fundamentais, terceiro e quinto harmônico. O módulo e fase de cada componente harmônico são explicitados na tabela 1. Os resultados obtidos por meio do critério estabelecido são mostrados na Figura 10.

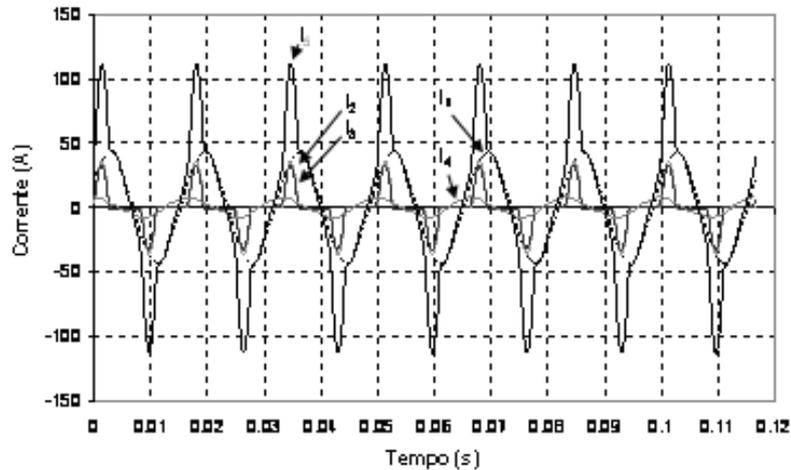


Figura 9: Exemplo de formas de onda sincronizadas

Tabela 1: Módulo e fase dos componentes harmônicos

Input #	Mag.	Angulo
I1	21.4	-58.5
I2	7.41	-24.2
I3	6.90	-22.1
I4	3.70	0.2
I5	36.9	-40.3

Harmônico Fundamental

Input #	Mag.	Angulo
I1	0.320	165
I2	5.90	-83.3
I3	5.40	-78.1
I4	0.240	-62.0
I5	11.4	-81.9

Terceiro Harmônico

Input #	Mag.	Angulo
I1	0.51	-42.8
I2	3.8	-142
I3	5.9	-134
I4	0.14	-8.6
I5	6.9	-133

Quinto Harmônico

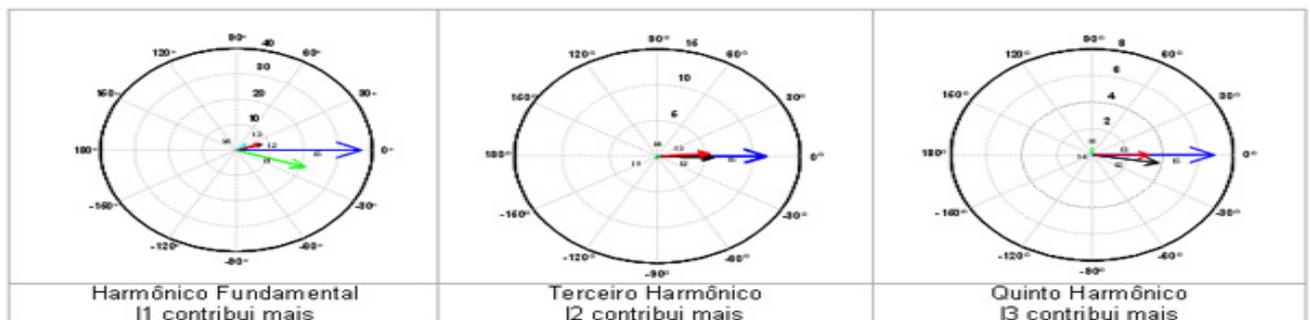


Figura 10: Exemplo de apresentação dos resultados

6.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um sistema SCADA para a medição e análise da propagação de correntes harmônicas na SE Ibiúna. O sistema é concebido para identificar as linhas que contribuem mais para a sobrecarga das correntes harmônicas de 3ª e 5ª ordem nos filtros passivos. Foi demonstrado que a metodologia baseada na lei de Kirchhoff das correntes requer uma medição fiável e sincronizada das grandezas elétricas. O critério proposto não resolve o problema de sobrecarga dos filtros passivos, mas informa em tempo real os caminhos seguidos por cada harmônico perto da subestação. Por último, convém notar que, embora que o sistema esteja sendo usado em uma situação particular (filtros de proteção contra sobrecarga) em uma estação HVDC, pode ser instalado com sucesso em todos os sistemas em que o estudo da propagação de harmônicos é desejado.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

- [1] L. F. Encarnação, A. G. Merçon, H. H. de Almeida, E. L. van Emmerik, and M. Aredes, "Hybrid Filters to Damp Harmonic Resonance in Power Transmission Systems", *Revista Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP)*, Santa Maria, vol. 11, pp. 25-32, 2006.
- [2] IEEE Std. 1344-1995, Standard for Synchrophasors for Power Systems.
- [3] G. Siebert, "The Impact of Expected Satellite Availability on Global Positioning System (GPS) Accuracy", *International Conference on Satellite Systems for Mobile Communications and Navigation*, London, vol. 4, pp. 178-180, 1988.
- [4] D. Itakagi, and Y. Fuwa, "GPS Based Time Synchronization Signal Distribution Method for Power System Protection/Control Systems and Field Experience", *National Convention Record IEE*, Japan, vol. 281, 2004.
- [5] S. Haykin, *Communication Systems*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [6] P. L. Della Maggiora and J. Doherty, *Cisco Networking Simplified*, 2003.