



V SBQEE
Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica
17 a 20 de Agosto de 2003
Aracaju – Sergipe – Brasil



Código: AJU 04 109
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS DE SUBFREQUÊNCIA E DE SUBTENSÃO EM UNIDADES DE REFINO NO NORDESTE

Edmundo Santos Silva *
Petrobrás

João Marcos Janson Ney
Petrobrás

RESUMO

A utilização de monitor de qualidade de energia e de relés digitais com osciloperturbografia permitiu otimização de ajustes de proteção e de sistema de descarte de cargas em unidades industriais equipadas com unidades de cogeração operando em paralelo com a rede elétrica de Concessionárias. São apresentados detalhes das monitorações, análise das ocorrências e soluções adotadas para minimizar os efeitos de subfrequência e de subtensão em refinaria de petróleo no nordeste brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE

Sub frequência, afundamento de tensão, qualidade da energia, proteção de sistema elétrico.

1.0 - INTRODUÇÃO

Dentre os problemas causados por qualidade de energia elétrica [1], os afundamentos de tensão e as subfrequências têm provocado impactos na operação das duas Unidades da Petrobras no Nordeste: a RLAM - Refinaria Landulpho Alves e a LUBNOR – Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste.

Tanto a RLAM como a LUBNOR possuem geração própria e operam em paralelo com a rede de Concessionárias interligadas em 69 kV. Diagrama unifilar simplificado do sistema elétrico da RLAM é mostrado na figura 1.

A LUBNOR é uma unidade de menor porte que possui um gerador de 4,2 MVA acionado a turbina a gás com co-geração de vapor. A carga total está em torno de 5 MVA, sendo necessário importar em média 0,8 MVA.

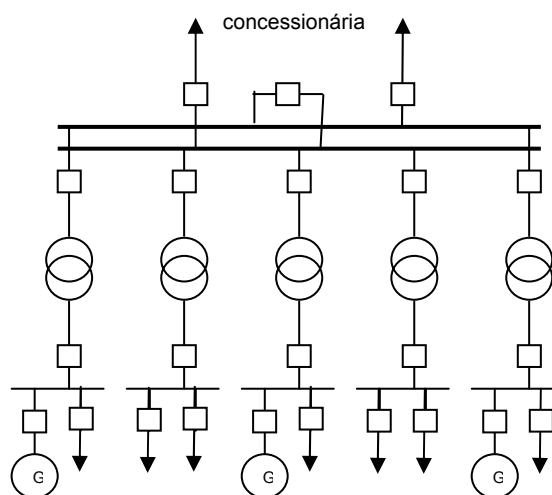


Fig 1. Diagrama unifilar do RLAM

A RLAM possui um gerador de 9,375 MVA acionado a turbina a vapor, um gerador de 23,75 MVA acionado a turbina a gás com co-geração de vapor e um gerador de 41,25 MVA acionado por um turbo expansor recuperando energia dos gases que saem de uma unidade de craqueamento catalítico. Atualmente a carga elétrica total da RLAM é inferior a sua capacidade de geração interna, sendo o excedente exportado para a concessionária. A

parada do maior gerador obriga a importação de cerca de 10 MVA.

Curtos-circuitos e aberturas de linhas de transmissão na rede da concessionária ou no sistema interligado se refletem no sistema interno através de sub tensão e subfreqüência que podem causar problemas para o sistema elétrico interno.

Os Padrões de Desempenho da Rede Básica publicados pelo ONS [2] estipulam que em condições normais de operação, em regime permanente, a freqüência do sistema interligado deve situar-se entre 59,9 Hz e 60,1 Hz, e que na ocorrência de distúrbios no sistema, havendo disponibilidade de geração para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, a freqüência deve retornar para a faixa de 59,5 Hz e 60,5 Hz dentro de 30 (trinta) segundos após o instante em que a freqüência sair desta faixa.

Prevê ainda que na ocorrência de distúrbios no sistema interligado, e havendo a necessidade de corte de geração ou corte de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, a freqüência: 1) Não pode exceder 66Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas; 2) Pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 segundos; 3) Pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 segundos.

Estes tempos porém excedem alguns limites máximos definidos pelos fabricantes das turbinas usadas nestas unidades industriais.

Já as variações de tensão de curta duração possuem tempos que caracterizam a eliminação de curtos circuitos pela atuação de relés de proteção em linhas de transmissão – tipicamente entre 50 a 150 milissegundos - e redes de distribuição – de 400 a 1000 msec. Estas durações muitas vezes provocam o desatracamento aleatório de contadores e panes nos circuitos de controle de variadores de velocidade, que podem levar à parada da unidade industrial. A amplitude da subtensão varia principalmente com a distância até o ponto de defeito, a configuração do sistema e as fontes de suprimento. Neste último aspecto, a geração própria tende a minimizar os efeitos dos afundamentos de tensão gerados por curtos circuitos no sistema elétrico externo à refinaria, assim como o esquema adotado de proteção no ponto de conexão com a concessionária visa detectar estas ocorrências e prontamente comandar a desconexão entre os sistemas [3].

Quando a geração interna não supre toda a energia necessária à operação das plantas de

processamento de petróleo, a abertura do paralelo inicia um processo de descarte de forma a compatibilizar a carga com a geração. Este processo necessita ser rápido o suficiente para evitar instabilidade na geração interna.

A utilização de monitor de qualidade de energia e da osciloperturbografia de relés digitais permitiu monitorar os valores da freqüência e de tensão imediatamente antes e logo após a abertura dos disjuntores de conexão. A análise destes registros permitiu otimizar o ajuste dos relés para evitar aberturas desnecessárias que provocavam perdas operacionais.

2.0 - OCORRÊNCIAS NA RLAM

Na RLAM até final de 2000 poucas ocorrências relativas à subfreqüência ocorriam, e nestas ocasiões isolava-se a geração interna através de disjuntores instalados em 13,8 kV. O relé de subfreqüência para a abertura dos disjuntores estava ajustado em 59,5 Hz e já no ano de 2000 notava-se um incremento na quantidade de abertura destes disjuntores por subfreqüência. A partir de fevereiro de 2001, quando foi interligado o Sistema Norte-Sul, aumentaram-se os problemas de qualidade do fornecimento de energia elétrica, somado ao aumento da demanda da refinaria, fazendo com que as ocorrências de subfreqüência afetassem mais intensamente a refinaria, fazendo atuar um maior número de vezes o descarte de cargas.

Com a ampliação e modernização da proteção do sistema elétrico da RLAM e utilização de relés digitais com osciloperturbografia, foi possível monitorar os valores da freqüência no momento da abertura dos disjuntores de conexão. Cada ocorrência passou a ser analisada detalhadamente a partir dos registros capturados pelos relés. Em um deste exemplo, a análise do registro mostrou:

- Valor mínimo atingido: 56,79 HZ
- Tempo abaixo de:
59 HZ → 10,75s 58 HZ → 7,53s 57 HZ → 3,3s
- Decaimento:
59,99 HZ p/ 58,99 HZ → 1,01 HZ/s
58,99 HZ p/ 58,00 HZ → 0,94 HZ/s
58,00 HZ p/ 56,99 HZ → 0,53 HZ/s
- Conseqüências na RLAM:

Houve a desconexão com a Concessionária da barra de sincronismo que estava com geração interna em paralelo com descarte de algumas cargas.

A figura 2 mostra a estatística de ocorrências de subfreqüência entre 02/2001 e 08/2002, quando aconteceram mais de 20 subfreqüências abaixo de 59,5 Hz.

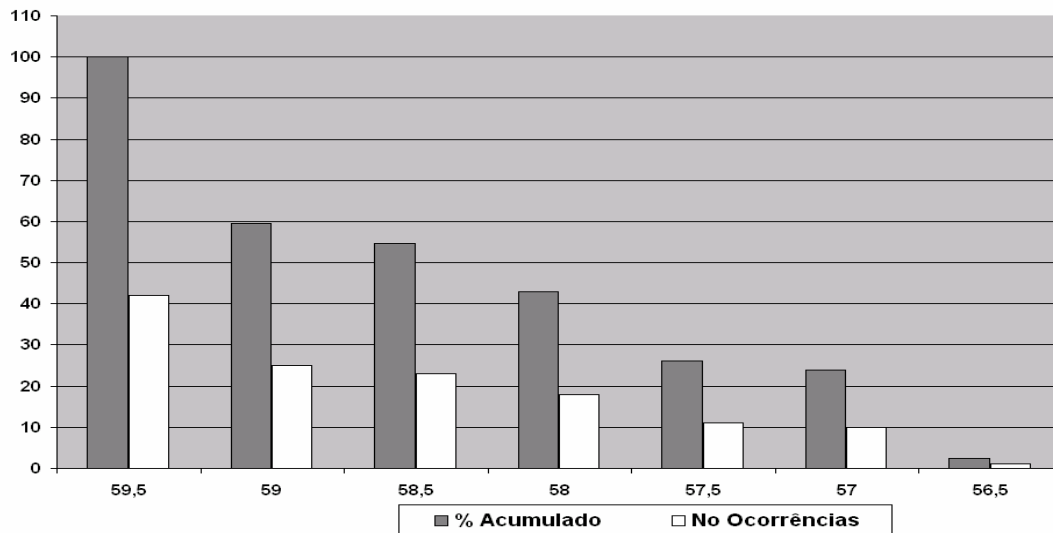


Fig. 2 - Estatística de ocorrências de subfreqüência em 2001 na RLAM

Buscando-se mitigar os efeitos da subfreqüência no processo produtivo da refinaria, e ao mesmo tempo não deixar os equipamentos sem a devida proteção, foram implementados novos ajustes conforme premissas a seguir descritas.

2.1 Proteções de Subfreqüência e Subtensão

Filosofia:

Proteção rápida para afundamento de tensão, subfreqüência e por decaimento de freqüência, abrindo-se a conexão com a Concessionária caso o fluxo de potência estiver no sentido da refinaria para fora.

Premissas adotadas:

- Proteção dos motores de maneira a evitar a operação dos mesmos abaixo de 57 Hz por mais de 15 s;
- Evitar ao máximo a abertura de contadores de motor por afundamentos de tensão na concessionária;
- No processo de rejeição por problemas de freqüência, a concessionária deve ser a primeira a sair;
- Como a proteção de subfreqüência do turbo expansor TG-3901 está ajustado em 56 Hz 1s, a rejeição de cargas deverá atuar em patamares que não cause desarme do gerador.

Nas diversas ocorrências de subfreqüência no sistema elétrico da RLAM, não se registrou qualquer problema ou dano em equipamentos, contudo a proteção de freqüência se faz necessária, consoante a relação entre distúrbios de freqüência com problemas no sistema elétrico interligado.

2.2 Abertura da Conexão por Subfreqüência

No momento de uma subfreqüência, as seguintes situações operacionais podem ocorrer:

- *RLAM sem geração interna.* Neste caso não há interesse de se abrir a conexão por subfreqüência. Contudo, caso a freqüência permaneça abaixo de 57 Hz por 15s haverá a interrupção de todas as cargas pela abertura dos disjuntores da conexão;

- *RLAM com geração interna em paralelo com a Concessionária exportando excedentes de energia.* A função 32, ajustada em 1 MW, libera a atuação da função 81, que atuará para subfreqüência de 57 Hz em 100 ms, ou se a variação de freqüência for maior que 1 Hz/s em 75ms. A carga descartada é o excedente exportado. Após a desconexão a geração interna se ajusta às cargas da ilha formada.

- *RLAM com geração interna em paralelo com a Concessionária importando energia.* Neste caso a desconexão só acontecerá se houver um grande afundamento da freqüência, com reversão de potência, atuando a função 32 intertravada com a função 81, conforme descrito anteriormente;

- *O turbo expansor com potência de 33 MW em paralelo com a concessionária.* Independentemente de estar ou não exportando energia, este caso obriga a abertura da conexão caso a subfreqüência atinja 56 Hz por 10 ms, para proteção da máquina.

Após a abertura da conexão atua o sistema de descarte de cargas de forma a estabilizar o sistema elétrico interno, mantendo as principais unidades de processo. Este descarte de cargas é executado pelo sistema de controle e monitoração distribuído – SCMD. Como proteção de retaguarda a este esquema, existe ainda a proteção de subfreqüência dos relés dos alimentadores em 13,8 kV, que atuam com temporizações entre 0,35 a 1,5 s, aguardando a recuperação da freqüência pela geração interna.

Com a implantação dos ajustes citados acima, haveria no máximo 14 desconexões dentre as 41 ocorrências registradas no período monitorado, assim distribuídas:

- 3 desligamentos da conexão por decaimento de frequência;
- 1 desligamento da conexão por frequência abaixo de 56 Hz;
- 10 desligamentos da conexão por frequência abaixo de 57 Hz, se a RLAM estivessem com excedente de energia.

2.3 Ajuste por Subtensão

Sempre que ocorre curto-circuito há a atuação da proteção de sobre corrente de forma a limpar a falta. Contudo o tempo de ação não é suficiente para evitar paradas de unidades de processo, em consequência da abertura de contatores dos motores pelo afundamento de tensão.

A abertura da conexão com a concessionária por afundamento de tensão, ajustado em 20% e 75 ms, tem como objetivo preservar as principais cargas, que normalmente estão sendo alimentadas por mais de uma fonte, e só é ativada se o fluxo de potência for no sentido da RLAM para a concessionária.

3.0 - OCORRÊNCIAS NA LUBNOR

Para abrir o paralelo entre a geração interna e o sistema da concessionária o projeto original da cogeração da LUBNOR incluiu um relé de proteção que detecta deslocamentos no ângulo de fase de tensão provocados por distúrbios como curtos-circuitos e a aberturas de linhas de transmissão. Vários ajustes neste relé foram tentados visando obter-se seletividade com a proteção do sistema de 69 kV e reduzir as aberturas indevidas.

Um monitoramento realizado pela concessionária no período de nov/99 a mar/00 revelou um grande número de afundamentos. De 54 afundamentos registrados, 30 ocorrências (56%) estavam entre 80 e 90% da tensão nominal.

Até a entrada em funcionamento da nova planta de lubrificantes da LUBNOR, a desconexão somente provocava a interrupção do excedente de energia que era exportado. Com o funcionamento da nova planta e a dependência de energia externa, passou a ser necessário o descarte de cargas quando era desfeito o paralelismo, ocasionando perdas operacionais.

Em algumas destas ocorrências o sistema de geração interna era desligado pela sua proteção logo após a abertura da conexão e em outras ocorria falha em variadores de velocidade e

queda de cargas acionadas por contatores. Levantou-se a hipótese de que os tempos de descarte de carga estavam elevados, sobrecarregando o gerador com reaceleração das cargas após a ocorrência de subtensão externa.

Além de verificação e melhoria nos variadores de velocidade e acionadores de cargas críticas, estudos foram feitos e recomendadas mudanças no esquema de proteção da conexão e ajustes mais adequados. As principais modificações foram:

- 1 – Retirada do relé previsto no projeto original;
- 2 – Aumento da sensibilidade da função 67 de corrente direcional para atuação mais rápida e a tempo definido;
- 3 – Alteração na função 32 de potência reversa, que normalmente é temporizada em torno de 1 a 2 segundos e usada para evitar o ilhamento de parte do sistema da Concessionária com a geração da refinaria para evitar religamento fora de sincronismo, foi intertravada com a proteção de subfrequência, função 81, de maneira que o conjunto atue em torno de 100 ms. Como podem ocorrer no sistema sobrecargas elevadas quando ocorre abertura de linhas de transmissão, empregou-se também o intertravamento com a função 27 pois a tensão cai mais rapidamente que a frequência.

Houve também a implantação de Sistema de Controle e Monitoração Distribuído (SCMD) que possibilitou a melhoria no sistema de descarte de carga, sendo alterado de forma a atuar em até 200 ms para atender ao recomendado pelo estudo de estabilidade. O SCMD possibilita ainda o registro dos instantes de atuação de cada uma das funções de proteção.

Porém, mesmo depois de implantadas estas melhorias, vários distúrbios provocaram a queda da geração interna e parada total da unidade, levantando-se suspeita sobre estes ajustes.

Foi então instalada uma monitoração, utilizando-se a função de "Waveform Capture" de um relé digital, para registrar as tensões e correntes em 13,8 kV e uma das fases em 69 kV, permitindo identificar e separar os problemas iniciados no sistema da concessionária dos problemas internos da refinaria. Esta monitoração capturou vários eventos, sendo alguns devido a curto circuito e outros provocados por variação de frequência atribuídos a oscilações eletromecânicas no sistema interligado nacional [4]. Vários afundamentos em 69 kV, como o exemplificado na figura 3 cuja duração foi 600 ms, tiveram sua duração reduzida em 13,8 kV, demonstrando a eficiência do esquema de proteção.

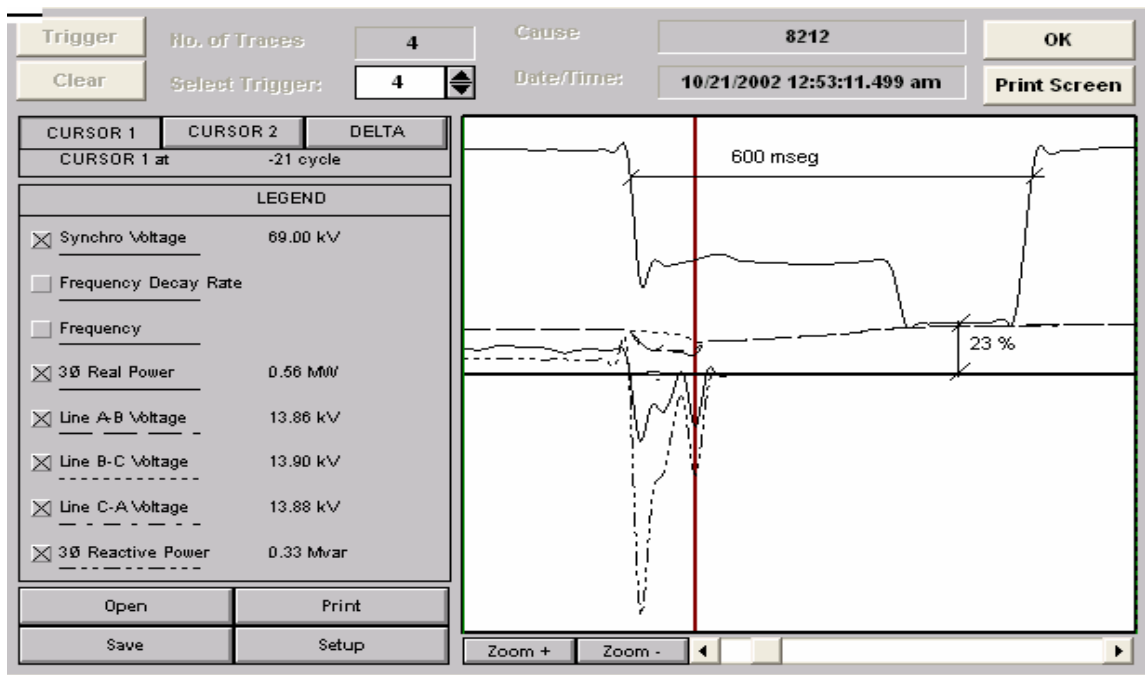


Figura 3 – Subtensão em 13,8 kV e em 69 kV na LUBNOR

Porém, em algumas ocasiões, ou por subtensões ou por subfrequência, distúrbios no sistema de 69kV provocaram quedas do gerador. Foram ainda realizados testes no gerador para verificação e ajustes no Regulador Automático de Tensão.

Outro monitor de qualidade de energia foi instalado junto ao gerador para registrar o comportamento do turbo gerador frente aos distúrbios ocorridos na rede da concessionária.

A figura 4 mostra a característica duração versus amplitude dos distúrbios registrados pelo monitor

entre os dias 28/11/02 a 28/02/03. Estão também representados para ilustração os limites da curva ITIC e tolerância de contadores a afundamentos de tensão [5].

Este monitoramento mostrou que a maioria dos afundamentos de tensão se situava entre 80 e 90%, sendo que as sobre tensões ocorreram após a abertura do paralelo.

A figura 5 mostra um exemplo dos perfis RMS da tensão, frequência, potências ativa e reativa capturados pelo monitor durante um dos distúrbios que levou à queda da turbina.

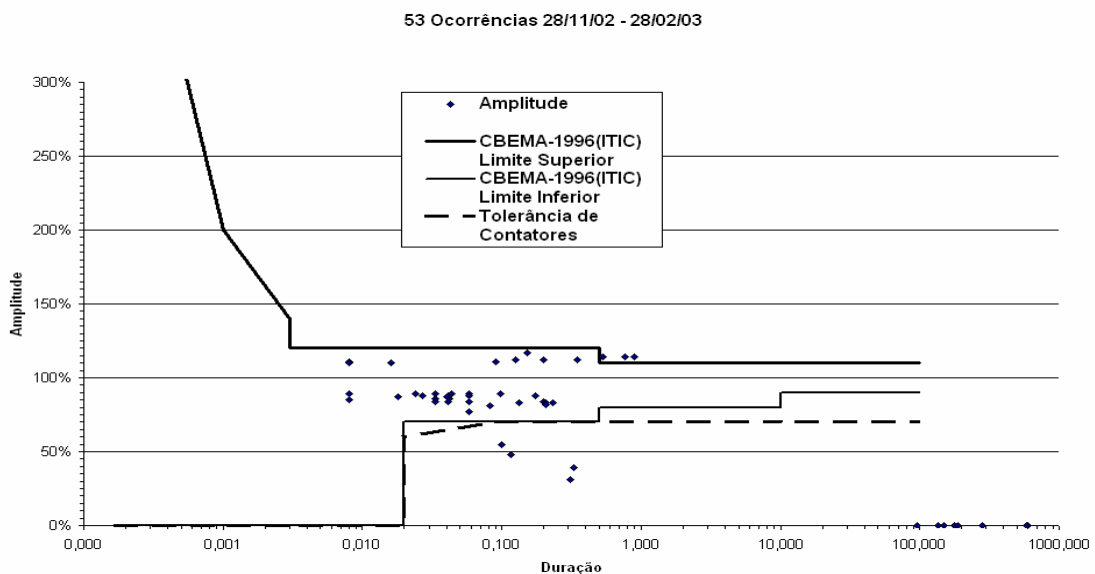


Figura 4 – Distúrbios de tensão em 13,8 kV na LUBNOR

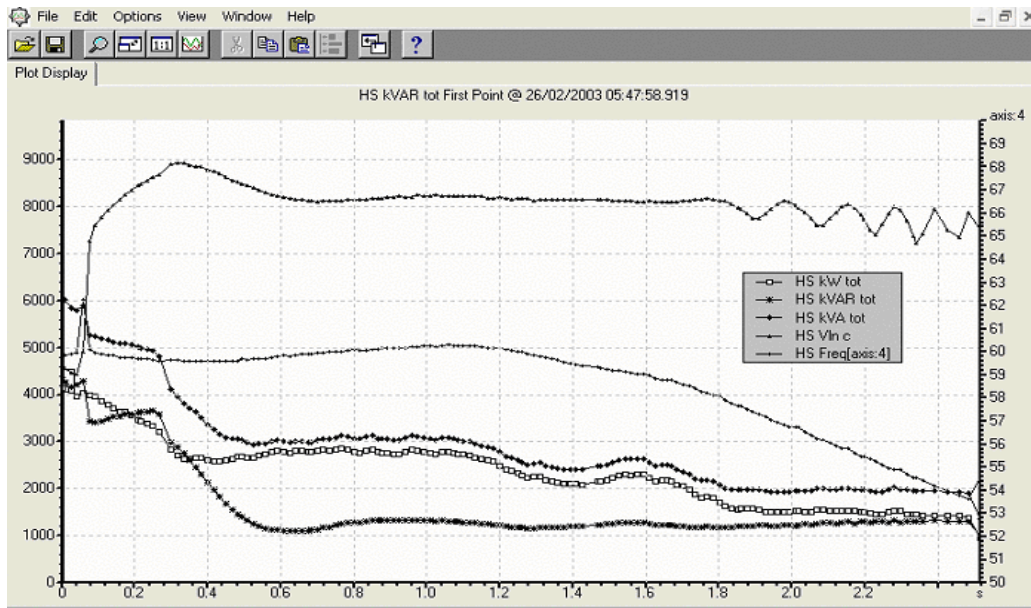


Figura 5 – Perfil RMS no gerador

Este registro mostra que a conexão com a concessionária foi aberta com 80 ms, a rejeição de carga ocorreu com 300 ms, as tensões e frequência do gerador estavam estabilizadas em 1,2 seg e o disjuntor do gerador foi aberto após 2,5 seg do distúrbio inicial. Desta forma, pôde-se constatar que o problema de queda da geração estava relacionado com o sistema de controle e proteção da turbina a gás, visto que mesmo depois de eliminado o distúrbio inicial e efetuado o descarte de carga, era comandado seu desligamento por falha de chama.

A partir destas monitorações foram pesquisadas as causas que provocaram falhas de chama, e realizadas modificações no programa de controle da turbina que atualmente estão sendo testadas.

Sem esta monitoração da qualidade da energia não seria possível a identificação de problemas do sistema de controle da turbina acionadora.

4.0 - AGRADECIMENTOS

As equipes das refinarias, que se envolveram com este trabalho, e a Power Measurement, que cedeu o medidor de qualidade de energia para avaliação permitindo registrar os distúrbios ocorridos na LUBNOR.

5.0 - CONCLUSÕES

A utilização de relés digitais com osciloperturbografia e de medidores de qualidade de energia permitiu um melhor entendimento das

respostas do sistema de geração própria aos distúrbios ocorridos no sistema da concessionária e na rede de transmissão. O conhecimento deste comportamento possibilitou uma otimização dos ajustes da proteção da conexão e dos ramais alimentadores internos, bem como do sistema de controle da turbina, de forma a se obter uma melhor qualidade de energia elétrica, tanto sob os aspectos de afundamento de tensão quando aos distúrbios de frequência.

A monitoração da qualidade de energia se mostra como uma ferramenta imprescindível para diagnóstico, análise e solução dos problemas de proteção e controle.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. F. Bernardes e J. M. Carvalho Filho, "Qualidade da Energia Elétrica", Apostila de Curso da Fupai. Rio de Janeiro, 2002.
- [2] Operador Nacional do Sistema Elétrico, "Padrões de Desempenho da Rede Básica – Submódulo 2.2 – Rev.2", 2002.
- [3] IEEE Guide for Protective Relaying of Utility-Consumer Interconnections C37.95-1989
- [4] Álvaro J.P. Ramos, "Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica – Estado da Arte e Proposição de Indicadores", Recife, 2000.
- [5] P. Pohjanheimo e M. Lehtonen, "Equipment Sensitivity to Voltage Sags – Test Results for Contactors, PCs and Gas Discharge", *Anais da 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, Rio de Janeiro, 2002.