COD.: 603

SENDI 2004
XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Brasília, 21 a 24 de novembro de 2004

Avaliação do Sistema Elétrico Quanto às "Variações de Tensão de Curta Duração"

AUTORES: **ERNESTO ALBERTO MERTENS JR**; E-mail: Ernesto.mertens@elektro.com.br
BENEDITO DONIZETI BONATTO; E-mail: benedito.bonatto@elektro.com.br
LUÍS FERNANDO SOUZA DIAS; E-mail: Luis.dias@elektro.com.br

ELEKTRO – Eletricidade e Serviços S.A.

Palavras-chave: qualidade da energia elétrica, variações de tensão, "voltage sag", monitoramento.

Resumo

Objetivo: Divulgar informações referentes aos distúrbios relacionados com Variações de Tensão de Curta Duração - VTCD's, apresentando os resultados obtidos em monitoramento realizado ao longo de 12 meses, abrangendo 222 pontos, no sistema elétrico da Elektro, visando subsidiar ações de melhorias no processo de gestão do Planejamento e Desempenho do Sistema elétrico.

Descrição: Dentre os fenômenos relacionados com a Qualidade da Energia, os com maior incidência de reclamação, pertencem ao grupo das VTCD's, que são variações rápidas de tensão. Este tipo de distúrbio acontece de forma intermitente, com ocorrência aleatória. É necessário, que as empresas aprofundem o conhecimento nesse tipo de perturbação, a fim de maximizar a qualidade, de forma a desenvolver uma abordagem sistemática para atender aos novos requisitos de fornecimento de energia.

Resultados: Foram registrados 22.035 eventos no período avaliado de 12 meses, nos 222 pontos. Através dessa massa de dados, foi possível verificar as características típicas destas perturbações, permitindo uma avaliação das mesmas, quanto a freqüência dos eventos, sazonalidade, duração, amplitudes, e outras características dos distúrbios.

Tais informações permitem um diagnostico do sistema elétrico, trazendo os seguintes benefícios:

- Identificação das regiões e/ou clientes com maior incidência de perturbações.
- Identificação de áreas para melhoria do Sistema Elétrico, direcionando-se ações pontuais.
- Constituição de Base de Dados, visando melhorar o nível de informação da Empresa.
- Avaliar soluções de fornecimento para o consumidor.

Através do conhecimento e da performance do sistema elétrico frente às VTCD's pode-se orientar os clientes, bem como agir no sistema elétrico visando um melhor desempenho do mesmo.

1. INTRODUÇÃO

A constante modernização de linhas de produção industriais, cada vez mais automatizadas e utilizando microprocessadores em larga variedade de equipamentos, processos e controles, tem tornado esses processos industriais bastante vulneráveis a problemas de qualidade da energia elétrica. Principalmente nos últimos anos, esta tendência acentuada de crescimento de cargas baseadas na eletrônica de potência, com processos e controle operativos sensíveis a variações das características da energia eletromagnética entregue, tem sido causa de muitas das reclamações por uma "qualidade melhor" no fornecimento de energia elétrica pelas concessionárias [1-3].

Em função deste cenário, a ELEKTRO decidiu-se pela aquisição de instrumentos de medição para faturamento, integrando funções de qualidade de Energia, permitindo assim o registro de diversas grandezas, possibilitando a criação de uma rede de monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica. A operação continua destes instrumentos está permitindo o armazenamento de uma grande quantidade de informações do sistema elétrico. A Elektro possui atualmente uma grande quantidade de pontos de monitoramento em operação, enviando e registrando os dados de forma continua, alimentando um banco de dados estruturado de forma a permitir a extração de informações úteis e consistentes do sistema elétrico. Tais informações proporcionam um eficiente suporte na análise, identificação, origem e localização de distúrbios.

Dentre os fenômenos relacionados com a Qualidade da Energia, os com maior incidência de reclamação, pertencem ao grupo de "Variações de Tensão de Curta Duração", que são os afundamentos, interrupções e elevações de tensão, com duração inferior a 1 minuto. Este tipo de distúrbio acontece de forma intermitente e aleatória. Neste grupo de classificação, os afundamentos de tensão tem sido apontados como um dos fenômenos que mais afeta a Qualidade. No caso da Elektro podemos afirmar que cerca de 90 % das reclamações de grandes clientes são relacionadas com este tipo de distúrbio.

Portanto, este trabalho visa apresentar um diagnóstico do desempenho de 222 barras monitoradas frente a este fenômeno, visando subsidiar ações de melhorias no processo de gestão do Planejamento e Desempenho do Sistema elétrico.

Conhecendo-se o histórico deste tipo de distúrbio é possível orientar os clientes quanto a eventual necessidade de se compatibilizar alguns tipos de cargas sensíveis à qualidade do suprimento, municiando o cliente das informações necessárias para uma adequada especificação de equipamentos, permitindo uma melhor suportabilidade dos mesmos a problemas, que na maioria das vezes, são de difícil solução no sistema elétrico da concessionária.

2. CONSIDERAÇÕES

As variações de tensão de curta duração (VTCD's) caracterizam-se por um desvio significativo da amplitude da tensão por um curto intervalo de tempo, podendo ser uma elevação, interrupção ou um afundamento de tensão, e são geralmente causadas por curto circuitos.

Uma das formas de avaliar-se a severidade das VTCD's é através da magnitude da tensão eficaz e da duração do tempo em que a tensão permanece abaixo de 90 % ou acima de 110 % da tensão nominal.

A seguir demonstra-se um exemplo ilustrativo para o caso de Afundamento de Tensão:

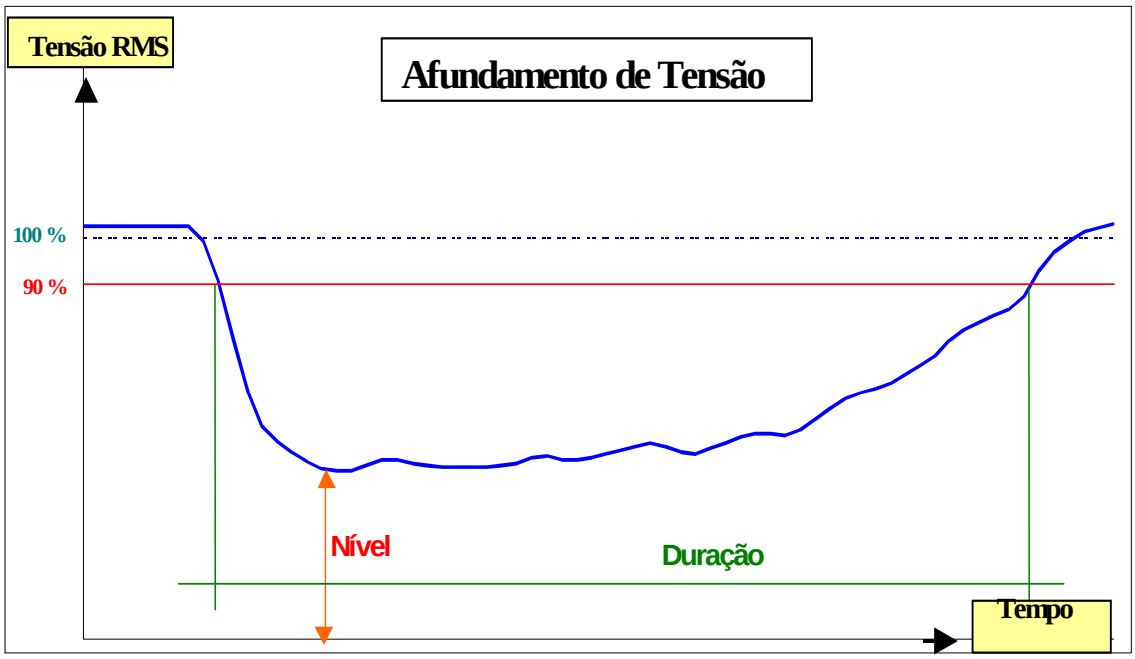

Fig. 01 – Exemplo de afundamento de tensão

Os registros dos eventos são baseados em medições de tensão Fase – Terra. Para esta avaliação foi utilizado o método a dois parâmetros (Magnitude e Duração), com tratamento independente entre fases, adotando-se como referência a fase mais critica, do ponto de vista da magnitude.

A agregação temporal adotada foi de 30 segundos, assim, os eventos consecutivos em um período de 30 segundos, na mesma barra, foram agregados compondo-se um único evento, pois entende-se que se referem à mesma ocorrência.

Apresenta-se a seguir a distribuição dos pontos monitorados quanto aos níveis de tensão de Suprimento da instalação e nível de tensão do ponto efetivamente monitorado:

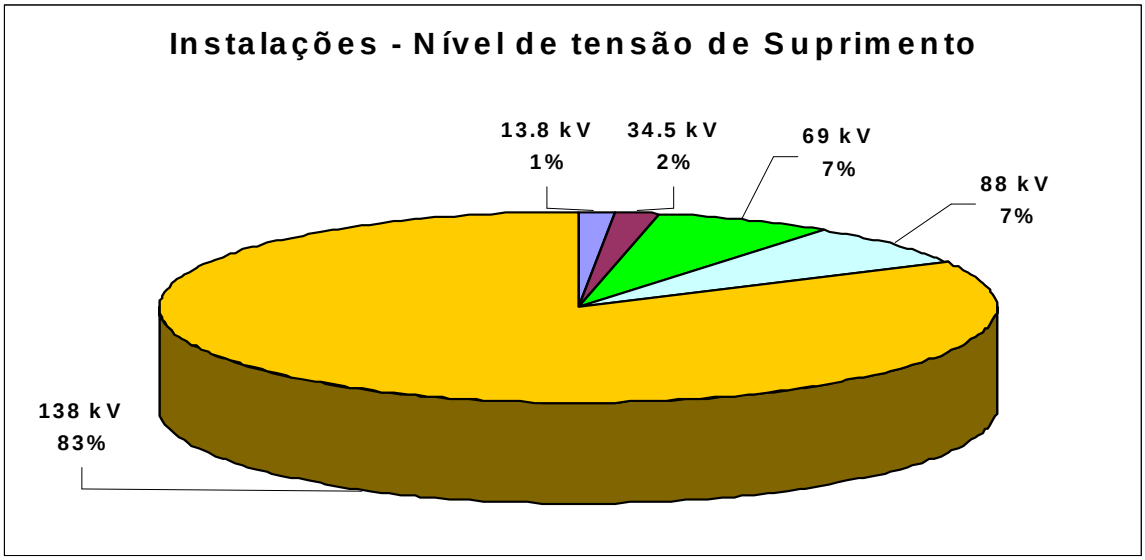

Fig. 02 - Nível de Tensão de SUPRIMENTO das instalações monitoradas.

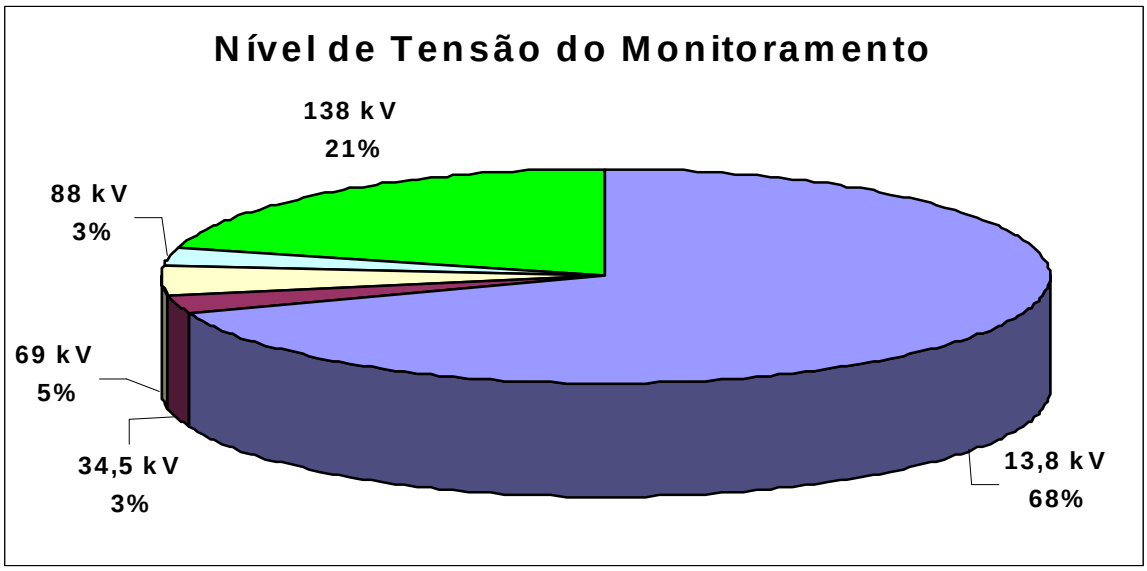

Fig. 03 - Nível de Tensão do MONITORAMENTO.

A seguir apresenta-se um exemplo de Suprimento em 138 kV e Monitoramento em 13,8 kV.

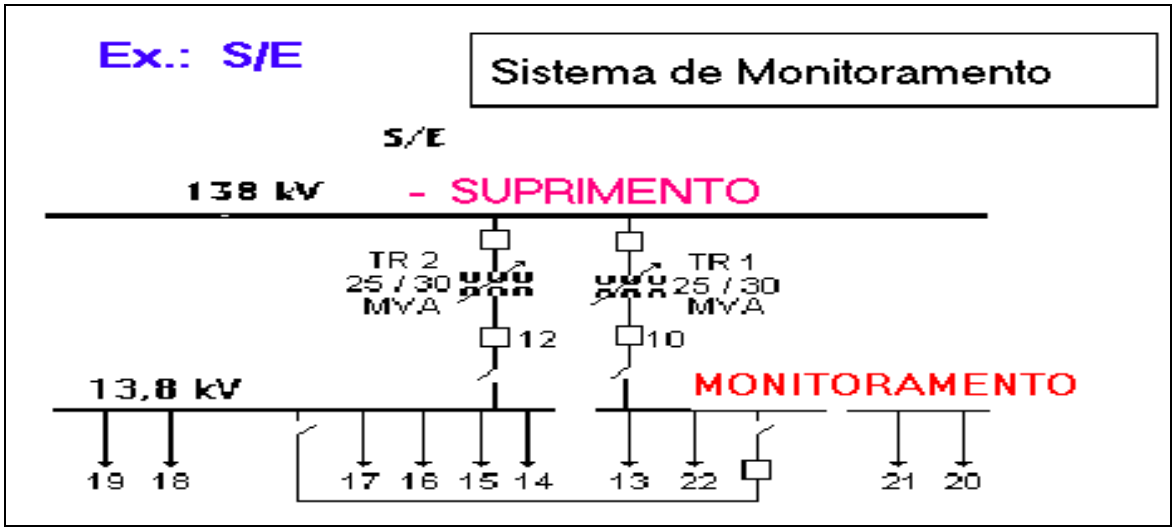

Fig. 04 – Ilustração, referente aos pontos de Suprimento e Monitoramento.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foram registrados um total de 22.035 eventos no período avaliado (gerados por 10.545 perturbações), abrangendo um total de 222 pontos de monitoramento, resultando em uma média de 99,3 eventos/ponto/ano, ou seja, 8,3 eventos/ponto/mês [4]. A seguir apresenta-se a distribuição da incidência dos eventos, quanto a Elevações, Afundamento e Interrupções:

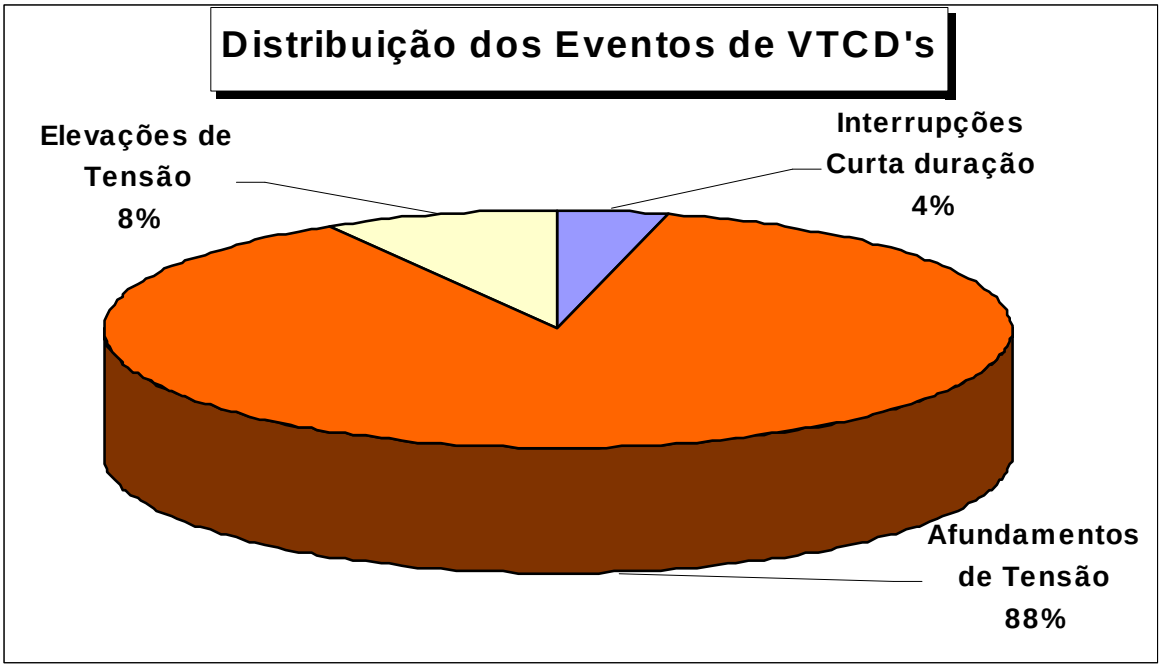

Fig. 05 – Distribuição dos eventos quanto a Elevações, Interrupções e Afundamentos.

O freqüência média anual de eventos por instalação foi de 99,3 eventos/ponto/ano. Verifica-se que cerca de 28 % das instalações apresentam desempenho inferior ao valor médio da empresa, e portanto, 72 % possuem performance melhor que a citada média. No gráfico abaixo é demonstrada a citada variabilidade:

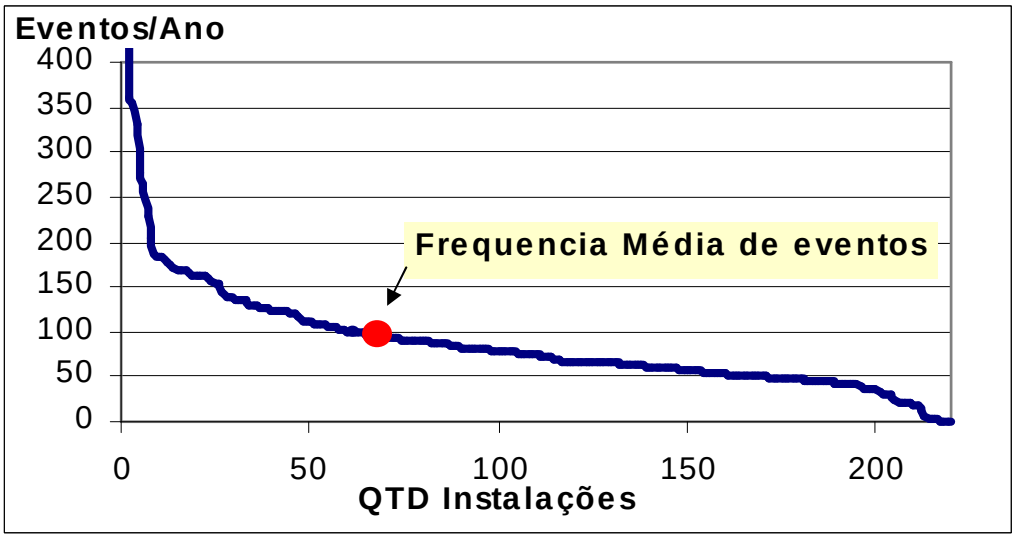

Fig. 06 – Freqüência média anual de eventos por instalação.

Na seqüência demonstra-se a distribuição das ocorrências por classe de tensão, demostrando a média anual de afundamentos e de elevações de tensão, por ponto de monitoramento, e por classe de tensão de suprimento:

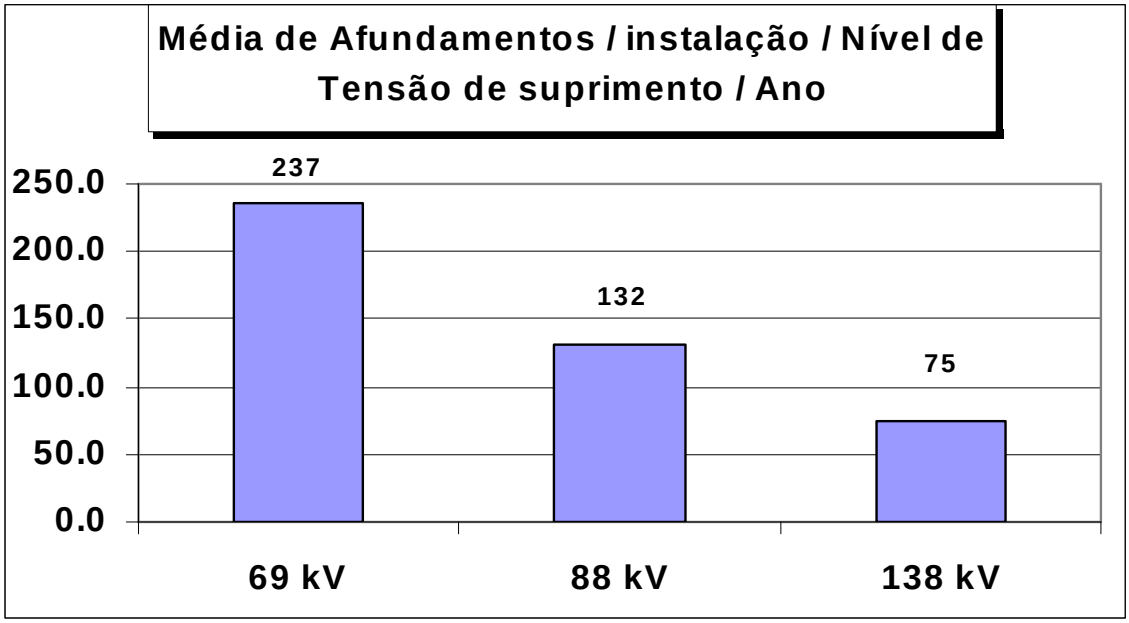

Fig. 07 –Média anual de afundamentos por instalação, por nível de tensão .

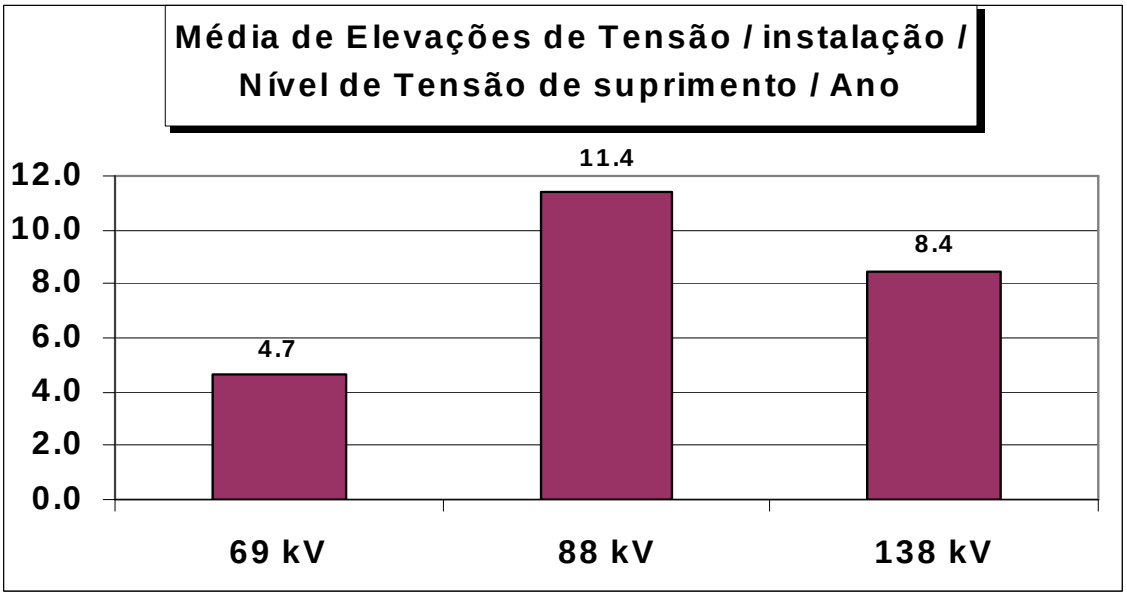

Fig. 08 – Média anual de elevações por instalação, por nível de tensão.

3.1. DETALHAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DOS EVENTOS

Na sequencia será realizado um detalhamento dos eventos registrados, procurando identificar-se as características dos mesmos quanto a duração e amplitude dos mesmos, avaliando separadamente as Interrupções, Afundamentos e Elevações de tensão.

3.1.1. AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

AVALIAÇÃO DAS AMPLITUDES

Na seqüência demonstra-se a distribuição acumulada da freqüência de eventos, quanto a amplitude da tensão remanescente dos afundamentos de tensão. Permitindo verificar que cerca de 27 % dos eventos possuem uma tensão remanescente inferior a 75% da tensão nominal.

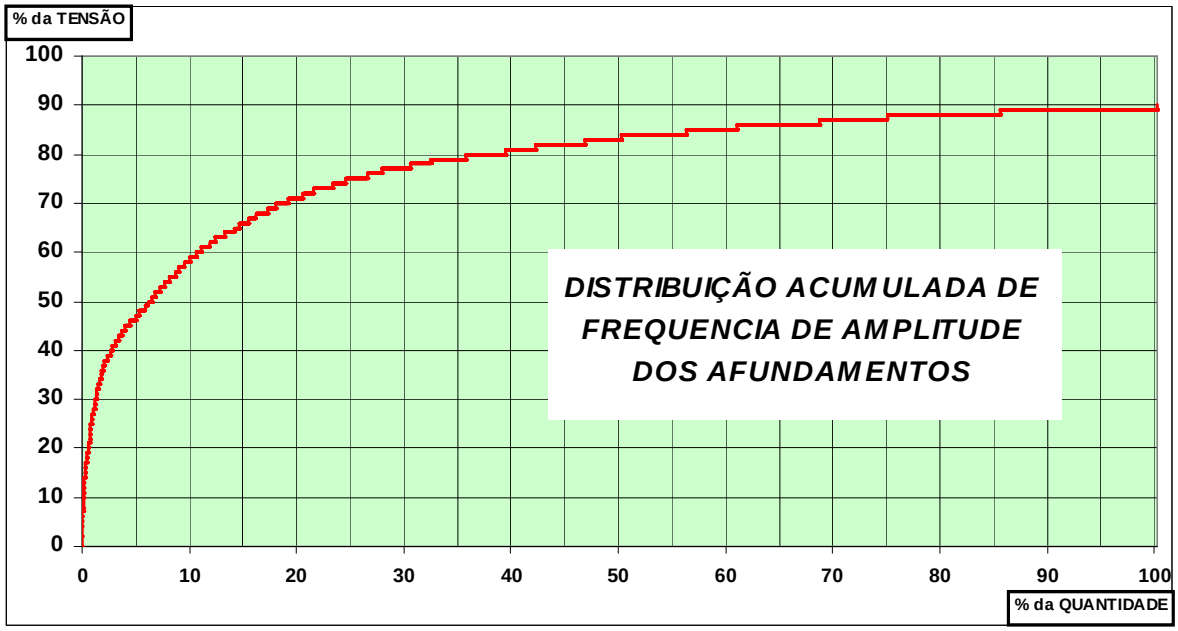

Fig. 09 – Distribuição acumulada de freqüência de amplitudes dos Afundamentos de Tensão.

Histograma demonstrando a distribuição da freqüência absoluta por faixa de tensão remanescentes dos eventos, permitindo verificar que mais de 60 % dos eventos estão na faixa de 80 a 90 % da tensão nominal.

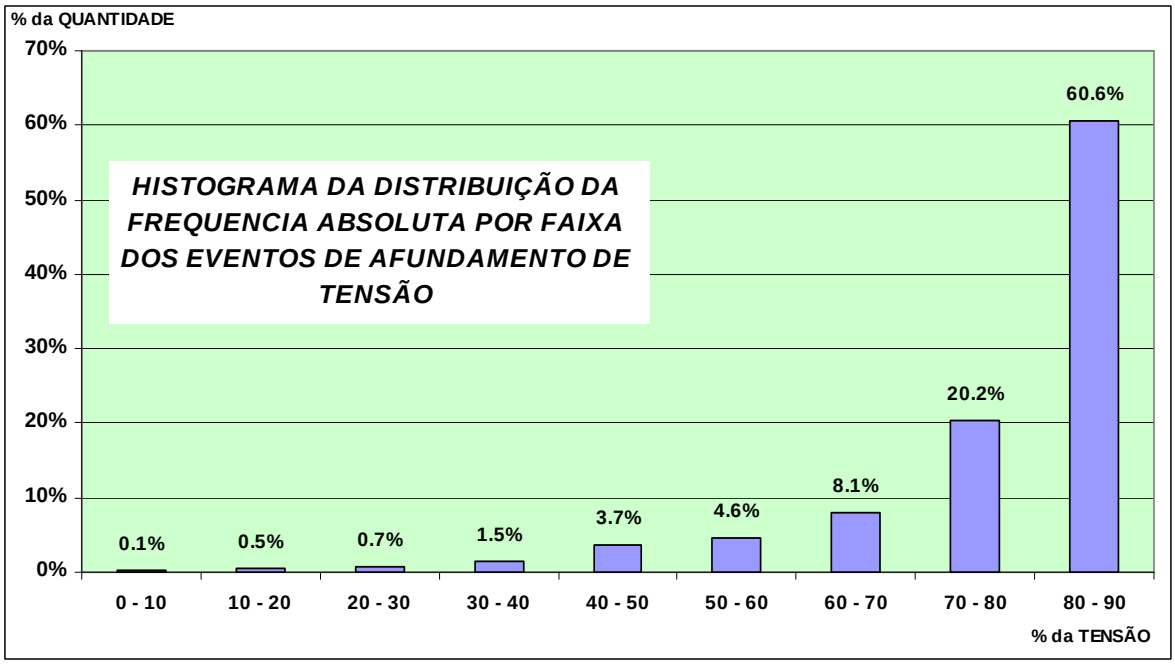

Fig. 10 – Histograma da freqüência por faixa de amplitude dos eventos de Afundamento de Tensão.

AVALIAÇÃO DAS DURAÇÕES

A distribuição acumulada das durações dos eventos registrados, demonstra que 80% dos afundamentos de tensão, possuem duração menor ou igual a 11 ciclos.

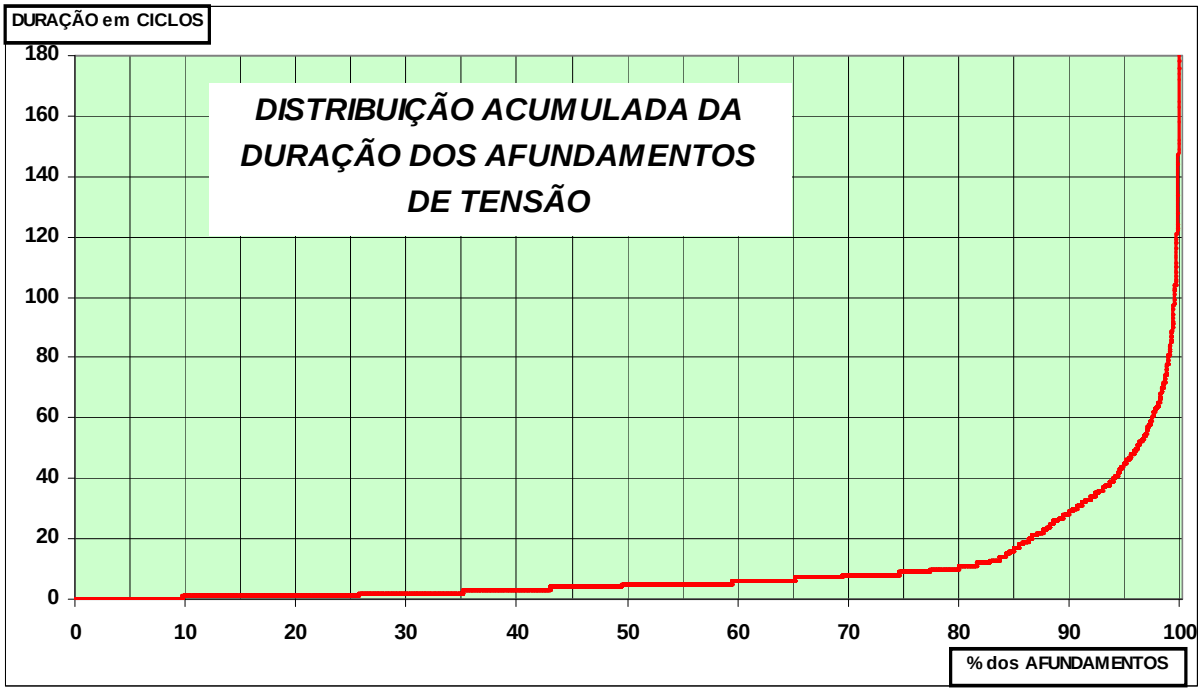

Fig. 11 – Distribuição acumulada de duração dos Afundamentos de Tensão.

Histograma demonstrando a distribuição das durações por faixa dos eventos, permitindo verificar que quase 60 % dos eventos possuem duração menor ou igual a 5 ciclos, destaca-se, que eventos com estas características são típicos de perturbações no sistema de transmissão.

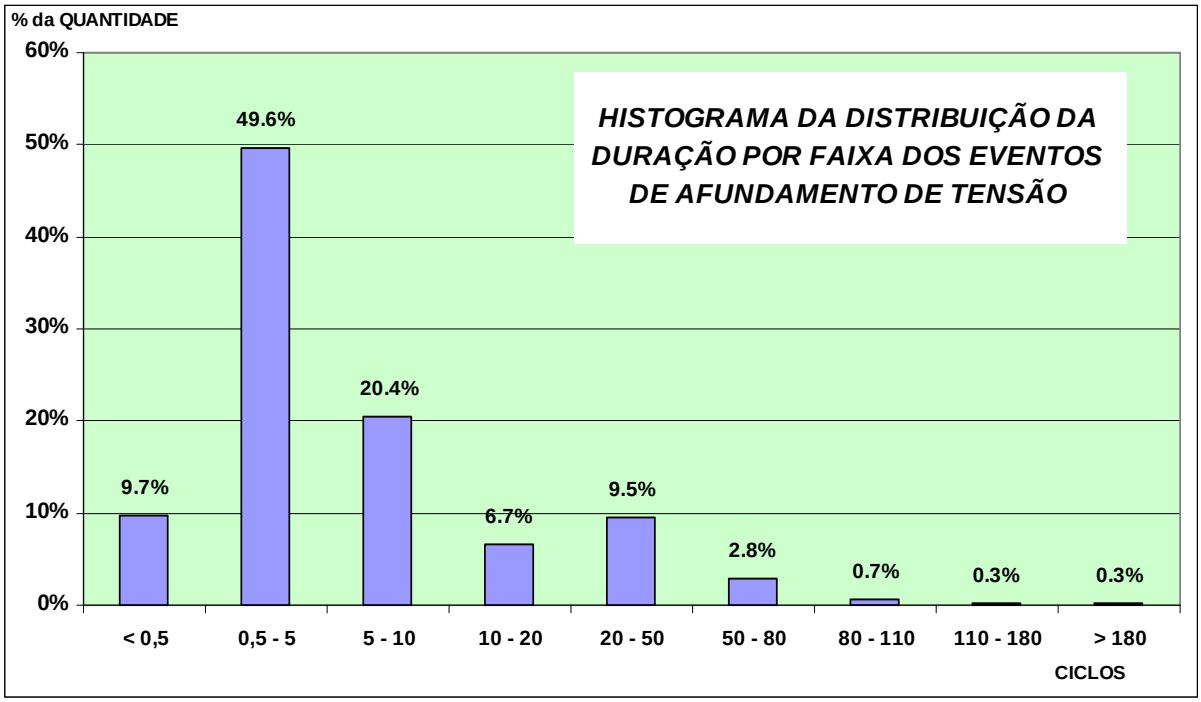

Fig. 12 – Histograma da distribuição da duração dos eventos de Afundamentos de Tensão.

3.1.2. ELEVAÇÕES DE TENSÃO

Na seqüência demonstra-se a distribuição acumulada da freqüência de eventos, quanto a amplitude da tensão máxima atingida pelas elevações de tensão. Permitindo verificar que 93 % dos eventos possuem uma tensão máxima de 130 % da tensão nominal.

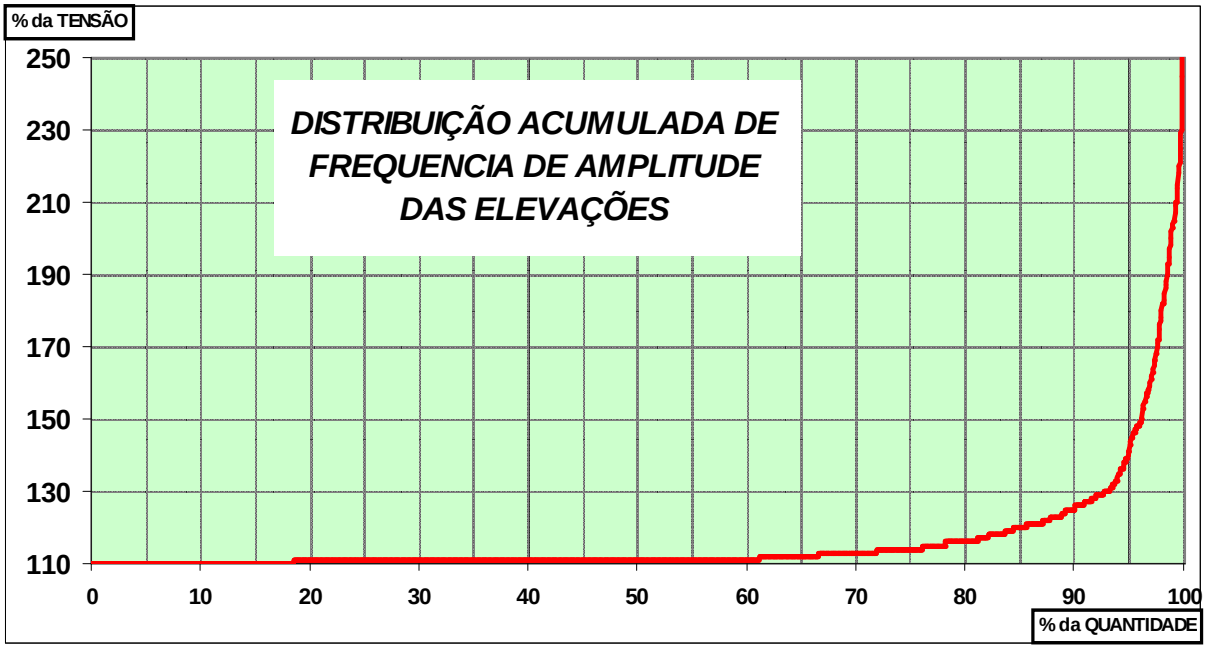

Fig. 13 – Distribuição acumulada de freqüência de amplitudes das Elevações de Tensão.

Histograma demonstrando a distribuição da freqüência absoluta por faixa de tensão atingida pela elevação de tensão, permitindo verificar que mais de 75 % dos eventos possuem valor de tensão máximo de 114 de % da tensão nominal.

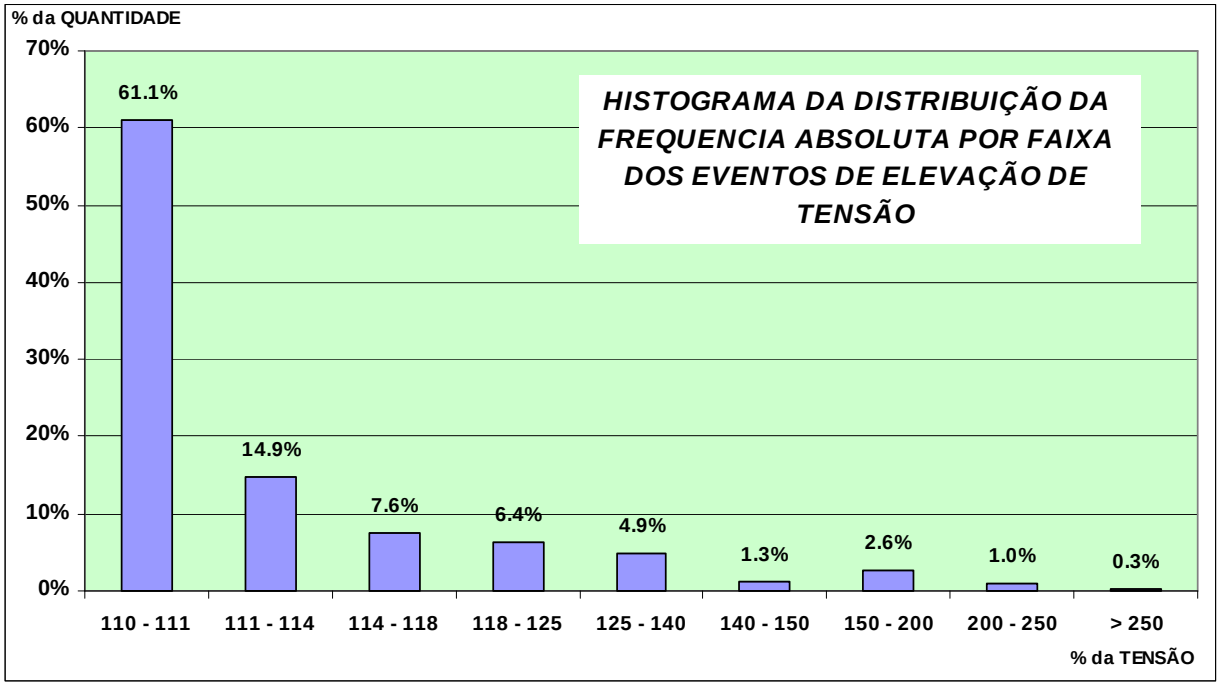

Fig. 14 – Histograma da distribuição da freqüência, por faixa de amplitudes dos eventos de Elevações de Tensão.

3.1.3. INTERRUPÇÕES DE CURTA DURAÇÃO

Na seqüência demonstra-se a distribuição acumulada das interrupções, quanto a duração atingida pelas mesmas. Permitindo verificar que quase 30 % dos eventos tem duração inferior a 50 ciclos (0,83 seg.)

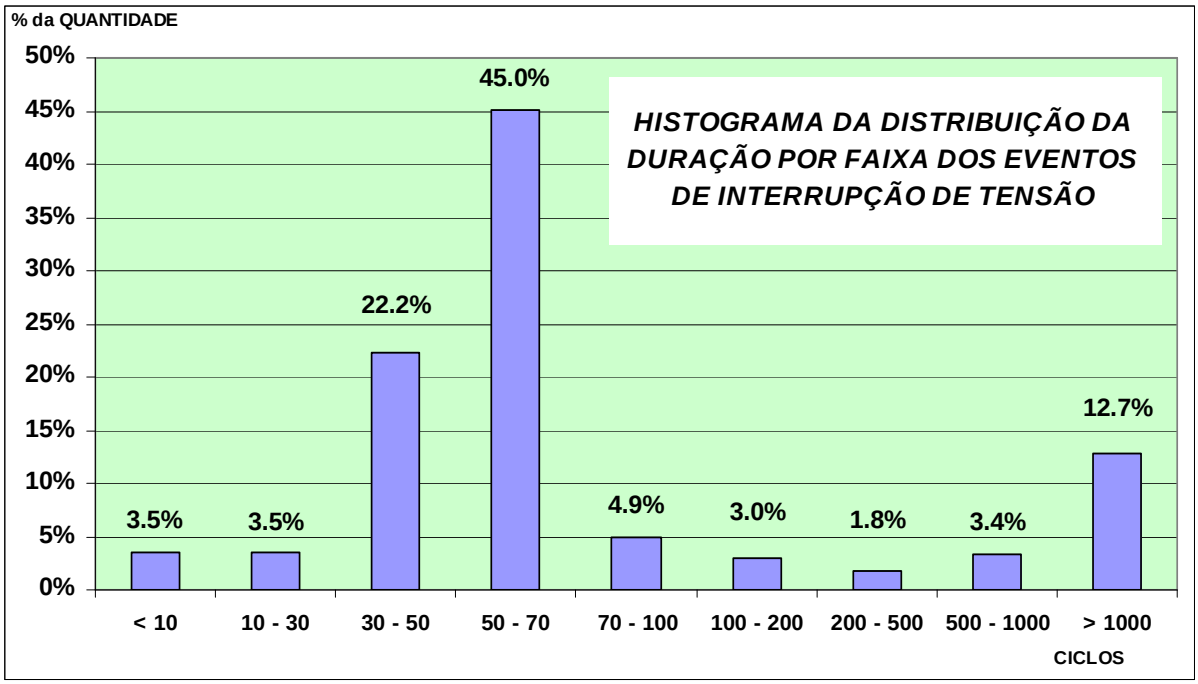

Fig. 15 – Histograma da distribuição da duração por faixa dos eventos de Interrupção de curta duração.

4. CONSTATAÇÕES

4.1. QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DOS AFUNDAMENTOS.

- Menos de 20 % dos eventos de afundamento de tensão possuem magnitude inferior a 70 % da tensão nominal.
- Quase 60 % dos eventos de afundamentos, possuem duração inferior a 5 ciclos, típicos de faltas no sistema de transmissão.
- Verificou-se que 8 % dos afundamentos tiveram simultaneamente duração superior a 10 ciclos e amplitude inferior a 75 % da tensão nominal, possuindo portanto, grande potencial para afetar processos automatizados (Considerando a plena transferencia do evento para os terminais da carga).
- Em função da variabilidade dos perfis dos afundamentos, estima-se que cerca de 30% dos eventos críticos não cheguem a afetar processos sensíveis. Reduzindo para menos de 6 % os eventos com potencial de paralisar processos sensíveis.

4.2. QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DAS ELEVAÇÕES.

- Quase 70 % das elevações de tensão tem duração igual ou inferior a 1 ciclo.
- 76 % das elevações de tensão tem amplitude máxima de 114 % da tensão nominal.

4.3. CORRELAÇÃO DOS EVENTOS COM OS INDICADORES DE DEC/ FEC.

- Após a comparação da incidência de eventos em um determinado sistema elétrico com os indicadores de continuidade DEC / FEC, verificou-se que não há correlação entre a freqüência de VTCD's em um determinado sistema, com o DEC / FEC apurado no mesmo sistema , ou seja, sistemas com má performance nos indicadores de continuidade, podem ter resultados opostos quanto a incidência de VTCD's.

Os gráficos a seguir ilustram esta constatação. Após a classificação decrescente dos sistemas elétricos pelo n.º de ocorrências, verifica-se que não há correlação com os valores de DEC (Fig. 16) e FEC (Fig. 17), verificados nos respectivos sistemas elétricos.

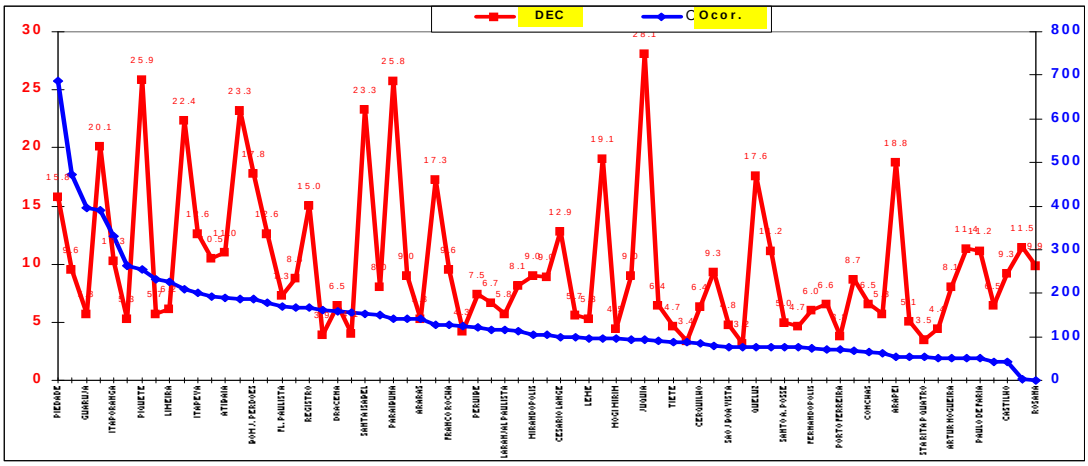

Fig. 16 – Comparação entre o **n.º de eventos** registrados e o **DEC** apurado.

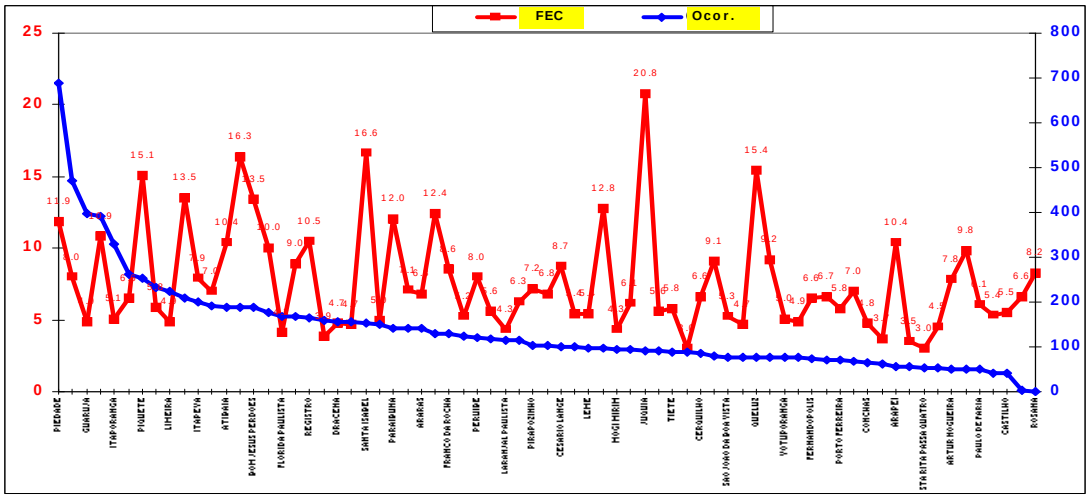

Fig. 17 – Comparação entre o **n.º de eventos** registrados e o **FEC** apurado.

4.4. QUANTO A ABRANGÊNCIA DAS PERTURBAÇÕES.

- Eventos no sistema de suprimento podem afetar simultaneamente um grande número de barras. Houve caso de uma única perturbação gerada no sistema de suprimento afetar 152 barras.

  Esta perturbação foi no dia 13/12/2002, às 16h16min, quando ocorreu o desligamento automático da LT 440 kV Santo Ângelo/Bom Jardim, LTs 345 kV Santo Ângelo/Itapeti C1 e C2, compensador síncrono Nº 1 de Embuguaçu e unidade geradora Nº 1 da UTE Piratininga com 70 MW de geração.

  A causa foi queda de cabo pára-raios da LT 440 kV Santo Ângelo/Bom Jardim.

  Características verificada quanto a variação do evento em cada um dos pontos:
  Amplitude da tensão: variou de 61 a 89 %.
  Duração: variou de 1 a 37 ciclos.

4.5. QUANTO A ORIGEM DAS PERTURBAÇÕES.

- Buscando uma avaliação quanto a origem das perturbações, ou seja, se foram originadas no sistema de Suprimento ou no sistema de Distribuição, efetuou-se a seleção de todas as perturbações que afetaram simultaneamente mais de 3 barras (Pontos monitorados).

  A lógica deste processo é que perturbações com capacidade de provocar variações de tensão em pontos distintos e distantes entre si, com certeza foram geradas no sistema de suprimento (Geração / Transmissão).

  Com base nos resultados desse processo, obteve-se o seguinte diagnóstico:

  - No mínimo 8,6 % das perturbações são geradas no sistema de suprimento.
  - Porém, como estas perturbações afetam geralmente um grande número de barras, as mesmas representam 48% do total de registros de eventos.

  Exemplificando, obteve-se no período monitorado, o registro de 22.035 eventos no sistema elétrico, que foram gerados por 10.545 perturbações, uma vez que as perturbações significativas podem afetar simultaneamente diversas barras monitoradas.

O método utilizado para se identificar o número de perturbações, foi o seguinte:

- Selecionou-se os 22.035 eventos, após agrupou-se todos os eventos registrados com datas e horários coincidentes, obtendo-se assim a quantidade de 10.545 perturbações, tal redução, é função de que as perturbações de maior vulto afetam simultaneamente diversos pontos.

- Da totalidade de perturbações (10.545), verificou-se que:

  - 7.848 (74,4 %) afetaram apenas um ponto monitorado.
  - 1.792 (17,0 %) afetaram 2 pontos.
  - 905 (8,6 %) afetaram 3 ou mais pontos.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho visa apresentar uma visão comportamental do sistema elétrico, permitindo identificar as características dos eventos, bem como as áreas problemáticas, de forma a subsidiar ações para assegurar níveis adequados de fornecimento.

A Qualidade da Energia deve ser apropriada para cada tipo de consumidor, assim, existe a necessidade de se compatibilizar a carga à qualidade do suprimento, municiando o cliente das informações necessárias para uma adequada especificação de equipamentos, permitindo assim, uma melhor suportabilidade dos mesmos a problemas, que na maioria das vezes, são de difícil solução no sistema elétrico da concessionária.

Através do conhecimento da performance do sistema elétrico frente às VTCD's pode-se orientar os clientes, bem como agir no sistema elétrico visando um melhor desempenho do mesmo.

A qualidade da Energia pode ser um diferencial competitivo da Empresa. Através do domínio das informações será possível atuar com um melhor nível de acertividade.

A experiência adquirida mostra também, que:

- Muitos problemas de qualidade da energia elétrica poderiam ser resolvidos já na fase de projeto de construção ou expansão ou modernização das plantas industriais;

- É importante constituir Base de Dados das medições da Qualidade de Energia para os principais consumidores e regiões, com o objetivo de melhorar o nível de informação da Concessionária.

- As concessionárias devem promover a educação e conscientização interna de seus funcionários em assuntos de qualidade da energia elétrica, especialmente os que primeiro recebem as reclamações de clientes, de forma a se evitar "atritos de desinformação e desgastes institucionais" desnecessários.

- O diagnóstico preciso, é fundamental para análise e proposição de soluções a problemas de qualidade da energia elétrica;

- A qualidade da energia elétrica deve satisfazer as necessidades dos clientes, porém, deve também estar compatível com a tecnologia da rede adotada.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Bonatto, B.D., Mertens Jr., E.A e Fernandes, F.A., "***Diagnóstico da Qualidade de Energia em Clientes Industriais – Estudo de Caso***," SBQEE'99 – III Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, Brasília – DF, Brasil, 08 a 12 de Agosto de 1999.

[2] Bonatto, B.D., Mertens Jr. and Fernandes, F.A., "***Diagnóstico da Qualidade de Energia no Sistema de Distribuição***," III CONLADIS – III Congresso Latino Americano de Distribuição de Energia Elétrica, Escola Politécnica da USP, Cidade Universitária, São Paulo - SP, Brasil, 08 a 10 de Setembro de 1998.

[3] Pinheiro, L.E.O., Bonatto, B.D., et ali, "***Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica Fornecida: Casos Práticos, Soluções e a Visão de Planejamento***," XIII SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo - SP, Brasil, 11 a 16 de Maio de 1997.

[4] Correia, Delmo M., Carvalho, Carlos B. C., Raybolt, Alexandre S., e outros **"Projeto Piloto VTCD's Aspectos Globais",** Relatório RE 2.1/012/2003 do ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, 30 de junho de 2003.