

II SBQEE - SEMINÁRIO BRASILEIRO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

IMPACTO DAS VOLTAGE SAGS SOBRE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

José Maria C. Filho - José Policarpo G. de Abreu - Paulo L. Carvalho
Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
email: polica@iee.efei.rmg.br

Resumo - Este artigo tem como objetivo principal avaliar o impacto das *Voltage Sags* sobre os equipamentos eletrônicos. Inicialmente, fez-se um levantamento bibliográfico sobre as estatísticas de ocorrência de *Voltage Sags* em termos de frequência, magnitude e duração. Posteriormente, levantou-se a sensibilidade de vários equipamentos eletrônicos frente a estes distúrbios. E, finalmente, a partir da confrontação dos dados obtidos, procurou-se determinar o impacto de *Voltage Sags* sobre os equipamentos eletrônicos industriais e residenciais.

Palavras-Chave - Power-Quality, Voltage-Sags, Voltage-Dip e Compatibilidade.

Abstract - This paper has as main objective to evaluate the impact of Voltage Sags on electro-electronic equipment. At first, a survey on the origins of Voltage Sags, encompassing balanced and unbalanced short-circuits, as well as its influence on the sensitivity of several electro-electronic equipment have been carried out. Later, the impact of voltage sags on the industrial and household electro-electronic equipment was determined by using a suitable methodology applied to a hypothetical system.

1 - INTRODUÇÃO

A qualidade da energia é uma preocupação crescente comum às distribuidoras de energia elétrica e aos consumidores de um modo geral. Dentro do contexto da qualidade da energia elétrica, pode-se destacar as *Voltage Sags*, que muitas bibliografias se referem como a principal causa das falhas de equipamentos eletrônicos e interrupções de processos industriais. *Voltage Sag* é um decréscimo na magnitude da tensão, cujo valor pode estar compreendido entre 10 e 90% da tensão nominal, enquanto que sua duração pode ser de 0,5 ciclos até 1 min [1]. A figura 1 ilustra o aparecimento do fenômeno.

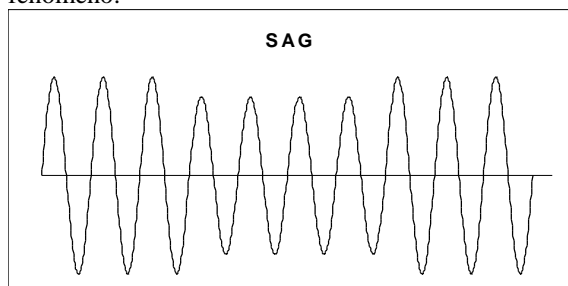


Figura 1 - Forma de onda de tensão com Sag

A análise de *Voltage Sags* é complexa, pois envolve diversos fatores que influenciam suas características, dentre os quais podem-se destacar:

- Tipo do curto-circuito;
- Localização da falta;
- Tempo de eliminação das faltas;
- Impedância de falta;
- Tensão pré falta, etc.

Voltage Sags podem causar diversos tipos de operações incorretas de equipamentos eletro-eletrônicos, dentre as quais podem-se destacar:

- Operação inadequada de equipamentos industriais (PLC's, ASD's, relés, microprocessadores, etc.).
- Variação da velocidade ou parada de motores.
- Falha de comutação em inversores.
- Perda de memória de equipamentos eletrônicos domésticos (vídeos, microondas e relógios digitais).

Como pode-se constatar, *Voltage Sags* causam inúmeros transtornos para os consumidores. Dentro deste contexto, este artigo visa compilar informações sobre a ocorrência de *Voltage Sags* e da sensibilidade dos principais equipamentos. A partir destes dados busca-se determinar o impacto de *Voltage Sags* sobre os equipamentos eletrônicos.

2 - CAUSAS E CARACTERÍSTICAS DAS SAGS

Segundo pesquisas realizadas [2 a 6], a principal causa de *Voltage Sags* são as faltas no sistema elétrico. A partida de grandes motores pode gerar *Voltage Sags*, mas de magnitude que geralmente não são severas o bastante para afetar a operação dos equipamentos eletrônicos. Qualquer falta que ocorrer no sistema, seja ele de distribuição, transmissão, irá gerar *Voltage Sag*, que será percebida de forma diferenciada pelos diversos consumidores.

Segundo [7], as maiores causas de faltas no sistema de distribuição da concessionária são aquelas apresentadas na figura 2.

Vale ressaltar que os resultados da pesquisa, apresentados na figura 2, evidenciam causas

específicas da região geográfica onde o monitoramento foi executado.

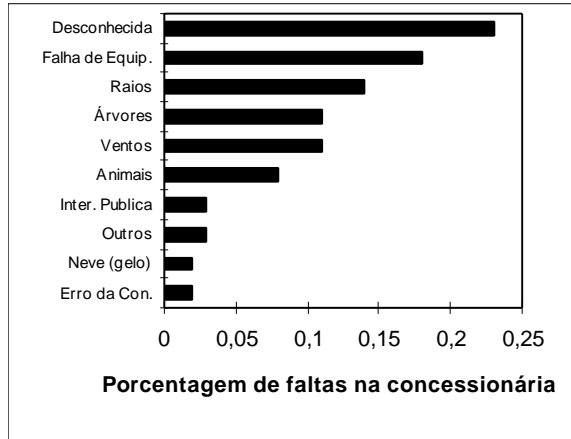


Figura 2- Causas das Voltage Sags

Portanto, é aconselhável que se tenha cuidado especial com a análise e interpretação dos dados. Entretanto, estes resultados podem identificar alguns fatores comuns que influenciam as Voltage Sags e também servir como base de dados que indique caminhos para prevenção dos problemas.

2.1 - Variáveis que Influenciam as Voltage Sags:

- Tipo de Falta:

As faltas trifásicas no sistema produzem Voltage Sags de maior magnitude que as faltas monofásicas. Em contrapartida, as faltas monofásicas são muito mais comuns de ocorrerem. A figura 3 apresenta a intensidade de Voltage Sags em função da distância e do tipo de curto-circuito para um sistema de distribuição de 13,8 KV.

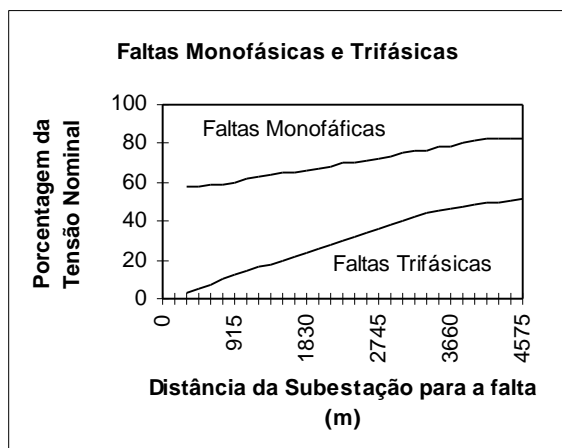


Figura 3 - Voltage Sags x Tipo de falha

- Localização das Faltas:

As faltas no sistema de transmissão são muito mais severas que as no sistema de distribuição. Geralmente, diversos consumidores estarão sujeitos a Voltage Sags quando da ocorrência de curtos-circuitos no sistema de transmissão. Já contrariamente, o raio de ação de Voltage Sags

devido a faltas em sistema de distribuição é reduzido e afeta um número menor de consumidores.

- Desempenho do Sistema de Proteção:

A duração de Voltage Sags está diretamente relacionada com o desempenho do sistema de proteção, ou seja, com o tempo de eliminação da falta (tempo de atuação dos relés somado ao tempo de abertura dos disjuntores).

- Nível Cerâmico da Região:

Segundo pesquisas realizadas, a maioria de Voltage Sags estão correlacionadas com as incidências de descargas atmosféricas. Em [3] cita-se que 77% das faltas foram causadas por descargas atmosféricas.

- Influência da Conexão dos Transformador:

As conexões dos transformadores instalados entre o ponto de falta e o consumidor têm grande influência na intensidade de Voltage Sags. A tabela 1, apresenta os efeitos das conexões sobre as Voltage Sags causadas por faltas fase-terra, no lado primário dos transformadores [2 e 8]. As tensões apresentadas na tabela 1 são no secundário.

Tabela 1 - Efeito das Conexões dos Transformadores

Conexão do Transformador	Fase-Fase			Fase-Neutro		
	Vab	Vbc	Vca	Van	Vbn	Vcn
Y aterr - Y aterr	0.58	1.00	0.58	0.00	1.00	1.00
Y aterr - Y						
Y - Y	0.58	1.00	0.58	0.33	0.88	0.88
Y - Y aterr						
Y - Δ	0.33	0.88	0.88	----	----	----
Y aterr - Δ						
Δ - Δ						
Δ - Y aterr	0.88	0.88	0.33	0.58	1.00	0.58
Δ - Y						

2.2 - Ocorrências de Voltage Sags

As referências [2 a 4] mostram a realização de monitorização da Qualidade da Energia em locais distintos, por períodos de um ano e em épocas diferentes. Com base nos resultados destas pesquisas, idealizou-se um sistema elétrico hipotético, cujas as incidências e características de Voltage Sags são aquelas apresentadas na figura 4. O gráfico tridimensional mostrado representa o tratamento estatístico de todos os registros obtidos das referências citadas, em termos de probabilidade de ocorrências, intensidade e duração.

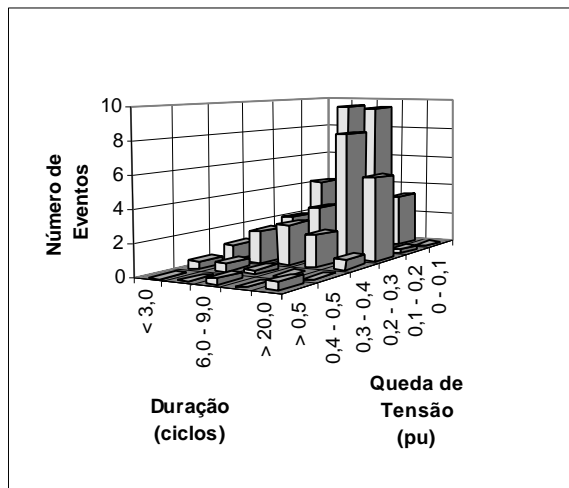


Figura 4 - Gráfico da magnitude x duração de sags

A partir do gráfico da figura 4 determinou-se as probabilidades marginais de ocorrências de *Voltage Sags* em função da magnitude e duração, conforme as figuras 5 e 6.

Estes valores serão utilizados, posteriormente, para a determinação do impacto das *Voltage Sags* sobre os equipamentos eletrônicos. É importante ressaltar que as projeções obtidas não podem ser adotados como dados típicos para qualquer sistema e para fins deste artigo representa um sistema hipotético.

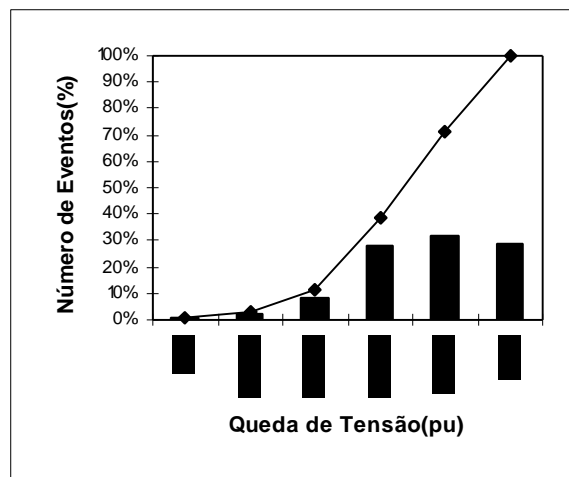


Figura 5 - Probabilidade marginal - magnitude de *Voltage Sags*

Como principais conclusões podem-se citar :

- Em termos de Magnitude:
- 60% das ocorrências de *Voltage Sags* têm intensidade entre 0,6 a 0,9 pu;
 - 30 % das ocorrências são subtensões com intensidade de 0,9 a 1,0 pu e não são classificadas como *Voltage Sags*;
 - 10% possuem intensidades menor que 0,6 pu.

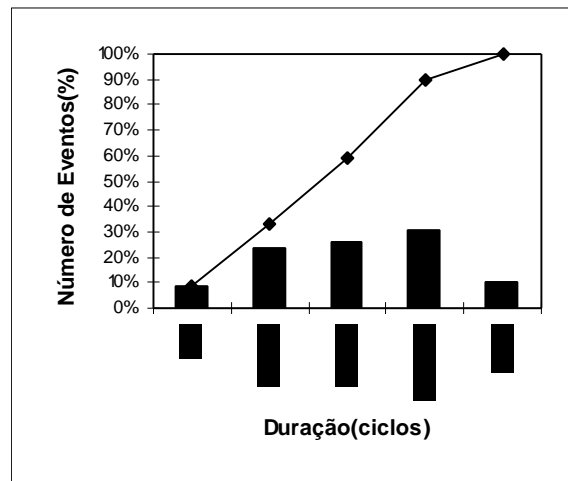


Figura 6 - Probabilidade marginal - duração de sags

Em termos de Duração:

- 60% das ocorrências possuem duração entre 6 e 20 ciclos,.
- 10% maior que 20 ciclos
- 30% menor que 6 ciclos

3 - SENSIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS

De forma semelhante ao item 3, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a sensibilidade dos principais equipamentos eletro-eletrônicos. Em [9] apresenta-se os resultados de ensaios de sensibilidade a *Voltage Sags* realizados em VCR's, fornos de microondas e relógios digitais. A figura 7 obtida de [9], apresenta o resumo da sensibilidade de cada equipamento eletrônico de utilização doméstica.

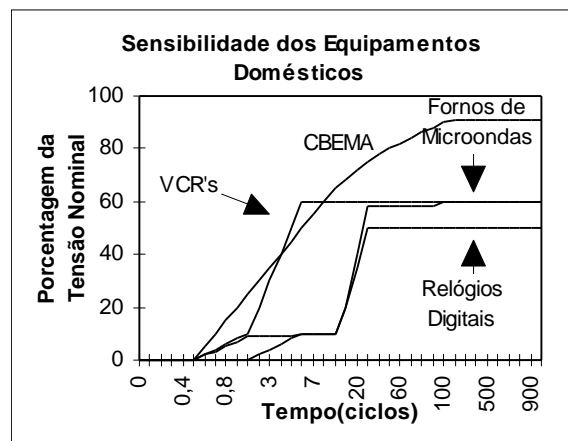


Figura 7 - Sensibilidade dos Equipamentos Domésticos

As referências [2], [3], [6] e [10], apresentam a sensibilidade dos principais equipamentos eletro-eletrônicos aplicados na indústria. As figuras de 8 a 12 sintetizam os resultados obtidos.

Vale ressaltar que, a sensibilidade dos equipamentos foram obtidas das referências citadas que realizaram ensaios e monitoração da qualidade de energia dentro de indústrias, com os equipamentos ensaiados desprovidos de qualquer dispositivo de condicionamento de energia.

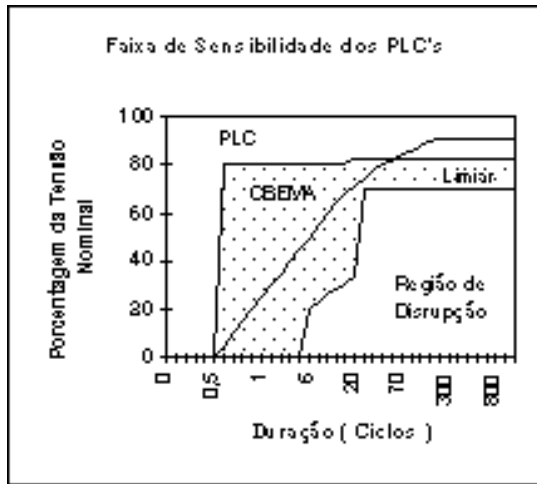


Figura 8 - Sensibilidade dos PLC's

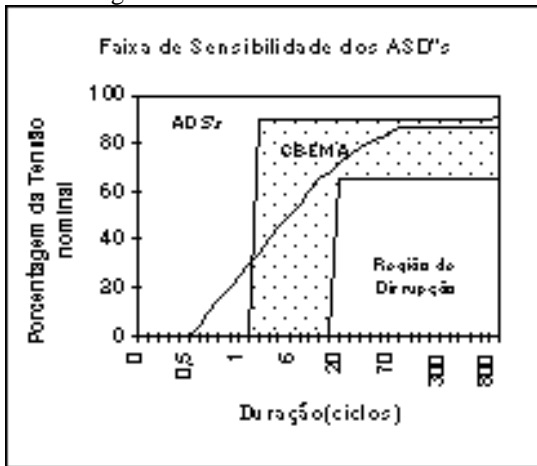


Figura 9 - Sensibilidade dos ASD's

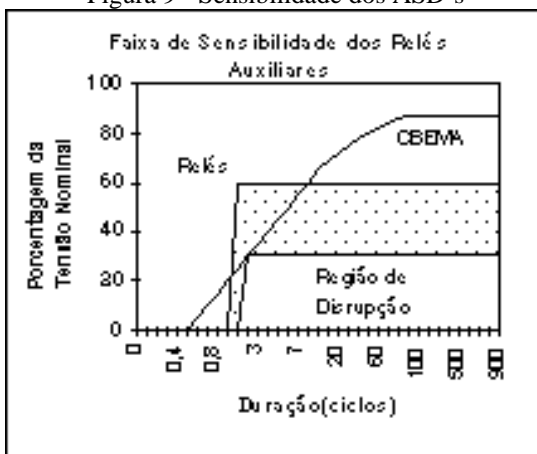


Figura 10 - Sensibilidade dos Relés Auxiliares

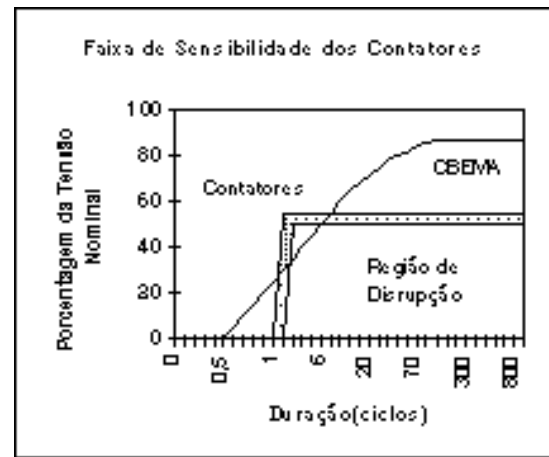


Figura 11 - Sensibilidade dos contatores

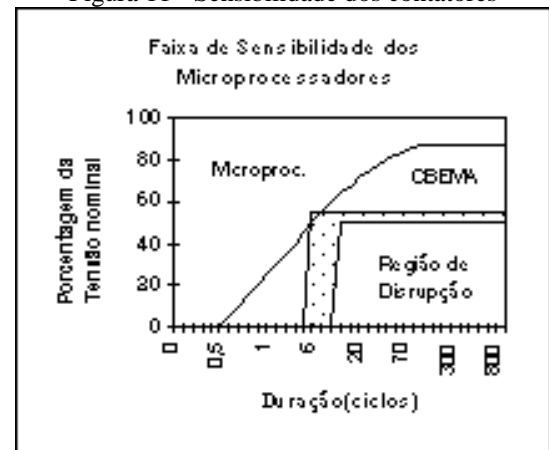


Figura 12 - Sensibilidade dos microprocessadores

Observa-se que a maioria dos equipamentos industriais tem a sensibilidade caracterizada por uma região dentro do plano magnitude e duração da *Voltage Sag*. Isto ocorre devido a alguns fatores, podendo-se destacar:

- Diferenças entre as tecnologias de fabricação dos fornecedores,
- Faixa de tolerância da sensibilidade entre equipamentos de um mesmo fabricante,
- Condições de carregamento dos equipamentos,
- Fatores ambientais do local onde o equipamento está instalado,

4 - ANÁLISE DO IMPACTO DAS *VOLTAGE SAGS*

Para se determinar o impacto de *Voltage Sags* sobre os equipamentos eletro-eletrônicos, confrontou-se as solicitações do sistema hipotético representado pelas figuras 4, 5 e 6, com a sensibilidade dos equipamentos apresentados nas figuras 7 a 12. Os resultados são sintetizados na tabela 2.

Tabela 2 - Falhas dos Equipamentos por Ano

Equipamentos	Nº Provável de falhas por ano	Probabilidade de falha(%)/ano
VCR's	1,84	3%
F. Microondas	0,44	1%
Relógios	0,44	1%
PLC's	3,0 - 29,59	4 - 41%
ASD's	1,67 - 37,42	2 - 52%
Relés Auxiliares	0,33 - 1,84	0,5 - 3%
Microprocessador	0,33 - 1,84	0,5 - 3%
Contadores	0,66 - 1,84	1,0 - 3%

A tabela 2 apresenta a probabilidade de falha dos equipamentos devido a ocorrências de *Voltage Sags*. Vale ressaltar que estes dados são de um sistema hipotético, obtido conforme metodologia apresentada anteriormente.

Através da análise da tabela 2, pode-se concluir sobre o impacto de *Voltage Sags*:

No setor Industrial

- Os equipamentos que possuem maior probabilidade de apresentar falhas são os ASD's e PLC's, pois os mesmos possuem ampla faixa de sensibilidade:

PLC's : 4 a 41%

ASD's : 2 a 52%

- Os relés auxiliares e microprocessadores apresentam probabilidades de falhas de operação equivalentes, isto é de 0,5 a 3%.

- Os PLC's e ASD's são os equipamentos mais vulneráveis, pois a menor probabilidade de falha (2 a 4 %) é bem superior a menor probabilidade dos outros equipamentos (0,5 a 1%).

No setor doméstico

- Dentre os equipamentos analisados os VCR's são os mais sensíveis.

- Os relógios digitais e os fornos de microondas apresentaram probabilidades de falhas iguais (1%).

5 - CONCLUSÕES:

Tomando-se como referência as solicitações impostas pelo sistema hipotético idealizado neste artigo, constatou-se que o impacto de *Voltage Sags* sobre os equipamentos eletro-eletrônicos de aplicação industrial, se dá de forma mais pronunciada sobre os PLC's e ASD's. Isto ocorre devido a ampla faixa de sensibilidade destes equipamentos frente as reduções momentâneas da tensão de suprimento (*Voltage Sags*).

Já, dentre os equipamentos de aplicação doméstica, os VCR's são os que apresentam maior vulnerabilidade.

Como medidas corretivas para os problemas detectados, pode-se atuar em duas vertentes a saber: a primeira, buscar melhorar o desempenho dos equipamentos frente aos distúrbios analisados, através de pesquisas e desenvolvimento de projetos por parte dos fabricantes; a segunda buscar ações que resultem em redução da incidência de *Voltage Sags*, através de implementação de critérios adequados de projeto, adoção de práticas operacionais e de manutenção compatíveis com as necessidades do sistema e adoção de filosofias de proteção que busquem reduzir os tempos de eliminação das faltas.

Uma vez esgotadas estas alternativas, recomenda-se instalar sistemas de condicionamento de energia, fundamentada numa análise de custo benefício do investimento.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS :

- [1] ABREU, J. P.G; et all. "Reflexões sobre Qualidade da Energia". I - SBQEE, junho de 1996.
- [2] LAMORRE, J; VINETT, P; JONES, W; and SAMOTYJ, M. "Voltage Sag Analysis Case Studies". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 30, nº4 July/August 1994.
- [3] WAGNER, V; GREBE, T; KRETSCHMANN, R; MORGAN, L; and AL PRICE. "Power System Compatibility Process Equipament". IEEE Industry Application Magazine, pag 11-15, Jan/feb 1996.
- [4] SARMIENTO, H. G; ESTRADA,E. "A Voltage Sag Study in an Industry with Adjustable Speed Drives". IEEE Industry Application Magazine, pag 16 - 19, Jan/Fev 1996.
- [5] GUNTHER, E. W and MEHTA, H. "A Survey of Distribution System Power Quality Preliminary Results". IEEE Transaction on Power Delivery, vol 10, nº1 Jan 1995.
- [6] MACGRANAGHAN, M. F; MUELLER, D. R; and SAMOTYI, M. J. "Voltage Sags in Industrial Systems". IEEE - Industry Applications, volume 29, nº2, March/April 1993.
- [7] IEEE PROJECT 1346 WORKING GROUP. "Electric Power System Compatibility with Industrial Process Equipment -Voltage Sags". 1994
- [8] Power System Reability Subcommittee Voltage Sag Working Group (Chairman: L. E. Conrad), "Proposed Chapter 9 for Predicting Voltage Sags (Dips) in Revision to IEEE Std 493, The *Gold Book*".IEEE Transaction on Industry Applications, vol 30, nº 3, May/June 1994.
- [9] ANDERSON, L. M e BOWES, K. "The Effects of Power-Line Disturbances on Consumer Eletronic Equipment". IEEE Transactions on Power Delivery. Pag 1062-1064, Apr 1990.

[10] CALDON, R.; Fauri, M.; FELLIN, L. "Voltage Sag effects on Continuous Industrial Processes: Dessitizing Study for Textile Manufature". D13:1 - D13:6. Study Committee 36 Colloquium and Meetings, Foz do Iguaçu - 1995.