



SCQ/022
21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

STE

SESSÃO TÉCNICA ESPECIAL INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA

PANORAMA DA SEVERIDADE DE FLICKER NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Antonio A. C. Arruda*
EPE

Ana Crista de F. Marotti
FURNAS

Eliane Valvano C. da Silva
CEPEL

RESUMO

A Campanha de Medição de Flutuação de Tensão no Sistema Elétrico brasileiro, realizada pelo Subgrupo Flutuação de Tensão do GTE-QEE do ONS, constituiu o mais completo diagnóstico da qualidade da tensão quanto a flutuação de tensão já realizado no Brasil. As medições realizadas em 14 Sub-sistemas onde estão em operação os maiores fornos elétricos a arco em operação no país, compreenderam a monitoração simultânea da flutuação de tensão no Ponto de Entrega ou Ponto de Acoplamento Comum da Usina Siderúrgica e de seu efeito, em termos de severidade de flicker, na rede secundária de distribuição do Sub-sistema correspondente, fornecendo dados importantes para a definição dos padrões a serem adotados para o controle da qualidade da tensão na Rede Básica.

PALAVRAS CHAVE

Flutuação de Tensão – Cintilação - Flicker

1. INTRODUÇÃO

O ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico brasileiro, constituiu, no início de 1999, o Grupo Especial Qualidade de Energia Elétrica (GTE-QEE) com o objetivo de propor melhorias para os Procedimentos de Rede, nos aspectos relacionados ao controle da qualidade da tensão na Rede Básica.

A análise realizada pelo GTE-QEE, dos Indicadores e Limites propostos pelo GCOI & GCPS para o controle da qualidade da tensão quanto a flutuação de tensão, conforme Relatório de 1993 [1] e revisão de 1997 [2], mostrou a necessidade de se fazer uma reavaliação dos indicadores e padrões propostos, em função da experiência das concessionárias brasileiras na

aplicação destas recomendações [3]. Para a realização deste trabalho foi constituído o Subgrupo Flutuação de Tensão com a participação de representantes dos Agentes Consumidores, Distribuidores e Transmissores.

Uma das atividades desenvolvidas por este Subgrupo, foi a realização de uma Campanha de Medição de abrangência nacional para avaliar a severidade de flicker associada a flutuação de tensão existente nos sub-sistemas que alimentam as Usinas Siderúrgicas onde estão em operação os 15 maiores Fornos Elétricos a Arco (Fornos a Arco) em operação no país.

Esta Campanha de Medição foi batizada de **Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS**, em função das entidades que patrocinaram a sua realização.

2. PREMISSAS & CONCEITOS

Para a melhor compreensão dos assuntos que serão tratados no presente Informe apresentamos a seguir os principais conceitos envolvidos e algumas premissas consideradas.

2.1 Flutuação de tensão

Termo aplicado a uma série de variações de tensão, que pode ser regular ou irregular. Os indicadores e padrões que estão sendo propostos pelo Subgrupo Flutuação de Tensão para controlar a qualidade da tensão da Rede Básica quanto a flutuação de tensão, aplicam-se somente à flutuação de tensão provocada pelas variações de tensão aleatórias ou repetitivas resultantes da operação de cargas instaladas nos Consumidores Livres ou alimentadas pelos Agentes Distribuidores, não se aplicando a variações de tensão momentâneas associadas à ocorrências no Sistema

* Alameda Ministro Rocha Azevedo, 25 – 6º andar – São Paulo – SP – CEP 01410-900
Tel. 11-252-3785 – Fax 11-252-3899 – e-mail antonioacarruda@uol.com.br

Elétrico

2.2 Variação de tensão

Variação do valor eficaz da tensão entre dois níveis adjacentes.

2.3 Cintilação ou Flicker

Impressão resultante das variações do fluxo luminoso das lâmpadas, principalmente incandescentes, quando a fonte de alimentação é submetida a flutuação de tensão.

2.4 Flickermeter

Instrumento para medição da severidade do flicker associado à flutuação de tensão existente no ponto de avaliação, cuja especificação é apresentada na Publicação IEC 61000-4-15 de 1997 [4].

2.5 Indicador de severidade de flicker Pst

Valor representativo da severidade do flicker associado à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 minutos.

2.6 Indicador de severidade de flicker Plt

Valor representativo da severidade do flicker associado à flutuação de tensão verificada num período de 2 horas, determinado a partir dos níveis de Pst conforme a seguinte expressão:

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} Pst_i^3}$$

2.7 PstD95%

Valor do indicador de severidade de flicker Pst que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de 1 dia. O indicador PstD95% é um dos indicadores propostos pelo Procedimentos de Rede do ONS para a avaliação da qualidade da tensão quanto a flutuação de tensão [5].

2.8 PltS95%

Valor do indicador de severidade de flicker Plt que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de uma semana, 7 (sete) dias completos e consecutivos. O indicador PltS95% é um dos indicadores propostos pelo Procedimentos de Rede do ONS para a avaliação da qualidade da tensão quanto a flutuação de tensão [5].

2.9 Limites Globais Inferior e Superior

Devido ao caráter subjetivo do incômodo provocado pelo efeito flicker, para a avaliação da qualidade da tensão quanto a flutuação de tensão estão sendo adotados nos Procedimentos de Rede do ONS dois

valores limites para cada indicador: Limite Global Inferior e Limite Global Superior [5].

Quando os valores medidos para os indicadores PstD95% e PltS95% forem menores ou iguais aos respectivos Limites Globais Inferiores, a qualidade da tensão será considerada adequada e não há necessidade de adoção de medidas corretivas ou mitigadoras.

Quando ao menos um dos indicadores medidos for maior que os respectivos Limites Globais Inferiores e menor ou igual aos Limites Globais Superiores será considerado estado de observação.

Quando os valores indicadores medidos superarem os respectivos Limites Globais Superiores, a qualidade da tensão será considerada, em princípio, inadequada devendo ser propostas medidas mitigadoras.

3. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

Os procedimentos aplicados na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS são apresentados a seguir e foram definidos tendo como base as contribuições recebidas dos Agentes Consumidores, Distribuidores, Transmissores e Universidades:

3.1 Instrumento de Medição

Os Analisadores de QEE empregados na Campanha de Medição possuem módulo **Flickermeter** e medem o indicador Pst em por unidade (pu), tendo como referência a curva de Pst unitário referente a lâmpadas de 60 W – 230 V.

3.2 Ponto de Medição AT

Ponto de Entrega (PE) ou Ponto de Acoplamento Comum (PAC) do Agente Consumidor onde esta instalado o Forno a Arco.

3.3 Ponto de Medição BT

Ponto de Medição na Rede Secundária de Distribuição localizada na área de influência da flutuação de tensão provocada pela operação do forno.

3.4 Ponto de Medição Complementar

Pontos de Medição em outros barramentos do Sub-sistema monitorado em cada Etapa que permitiram uma melhor avaliação da propagação da flutuação de tensão da AT para a BT.

3.5 Duração da Medições

Em cada subsistema monitorado, denominado Etapa, as medições nos Pontos de Medição AT e BT foram realizadas simultaneamente com duração mínima de uma semana, 7 (sete) dias consecutivos e completos (24 horas).

4. PARTICIPANTES & INSTRUMENTOS

A Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS, além de contar com a participação do **CEPEL** contratado pela ABRACE/IBS para realizar as medições nos pontos de conexão das Usinas Siderúrgicas, contou também com a participação dos seguintes Agentes:

- **EPTE:** que disponibilizou instrumento e profissionais para a realização das medições nas Redes Secundárias de Distribuição;
- **Furnas:** que disponibilizou instrumento e profissionais para a realização das medições em barras complementares;
- **CPFL e COPEL:** que disponibilizaram instrumentos para a realização das medições em barras complementares nas Etapas que envolveram instalações de sua propriedade.

Os instrumentos utilizados na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS são apresentados a seguir:

4.1 Power Quality Analyser – Mini-AQO

O “Power Quality Analyser”, modelo Mini-AQO, fabricado pela empresa canadense C-MAC, Energy & Systems Division, foi o instrumento utilizado pelo Cepel para a realização da severidade de flicker.

4.2 Analisador de Qualidade de Energia Elétrica RPM

O Power Recorder fabricado pela Reliable Power Meter (RPM) foi o instrumento utilizado pela EPTE para a realização da medição da severidade de flicker nos circuitos em tensão secundária de distribuição (Ponto de Medição BT).

Analisadores de QEE RPM foram também os instrumentos disponibilizados pela COPEL e CPFL nas Etapas que envolveram instalações de sua propriedade.

4.3 Analisador de Energia Elétrica TOPAS 1000

O Analisador de Energia Elétrica modelo TOPAS 1000, fabricado pela LEM NORMA GmbH, foi o instrumento utilizado por Furnas para a realização da medição da severidade de flicker em Pontos de Medição complementares.

5. SUB-SISTEMA MONITORADOS

As principais características de cada um dos 14 Sub-sistemas monitorados na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS, denominados Etapas, são apresentados na Tabela 1 onde são fornecidas as seguintes informações:

- Etapa: Número da Etapa correspondente à ordem cronológica de sua realização;
- Tipo: Característica do Ponto de Medição AT identificado se ele é o PE ou o PAC da Usina Siderúrgica monitorada;
- Tensão AT: Valor nominal da tensão fase-fase no PE ou PAC da Usina Siderúrgica monitorada;
- Scc3 ϕ : Potência de curto-circuito trifásica disponível no PE ou PAC da Usina Siderúrgica monitorada;
- Forno: Quantidade e Potência Nominal dos fornos arco em operação na Usina Siderúrgica monitorada;
- Tensão BT: Valor nominal da tensão fase-terra da Rede Secundária de Distribuição monitorada em cada Etapa.

TABELA 1

Etapa	Ponto de Medição AT				Ponto de Medição BT
	Tipo	AT (kV)	Scc3 ϕ MVA	Forno QTD x MVA	BT (V)
1	PE	138	1156	2 x 45	127
2	PE	230	7963	1 x 38	(*)
3	PAC	138	1085	1 x 56,6	127
4	PE	138	3421	2 x 75	127
5	PE	138	3222	1 x 45/52	127
6	PE	138	3774	1 x 24 1 x 16	127
7	PE	138	3185	2 x 36	127
8	PE	138	1038	1 x 48	127
9	PE	230	3181	1 x 45	127
10	PAC	230	5428	2 x 25	127
11	PE	230	2537	1 x 44	220
12	PE	230	4126	1 x 65	127
13	PAC	230	4561	1 x 22	230
14	PAC	69	1086	1 x 13,5	220

(*): Nesta Etapa não houve interesse do Agente Distribuidor de que fosse monitorada a Rede Secundária de Distribuição.

6. RESULTADOS DA CAMPANHA DE MEDIÇÃO

Os principais resultados obtidos na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS são apresentados na Tabela 2 onde para cada Etapa são informados os valores apurados para os indicadores PstD95% e PltS95% nos Pontos de Medição AT e nos Pontos de Medição BT.

TABELA 2

Etapa	Ponto de Medição AT		Ponto de Medição BT	
	PstD95%	PltS95%	PstD95%	PltS95%
1	3,85 pu	2,57 pu	2,39 pu	1,74 pu
2	0,62 pu	0,52 pu	0,46 pu	0,43 pu
3	6,06 pu	4,94 pu	2,00 pu	1,66 pu
4	4,37 pu	3,66 pu	2,42 pu	1,96 pu
5	2,23 pu	1,78 pu	(*)	(*)
6	1,13 pu	0,89 pu	(*)	(*)
7	2,18 pu	1,66 pu	(*)	(*)
8	9,52 pu	6,09 pu	1,25 pu	0,96 pu
9	2,24 pu	1,74 pu	0,48 pu	0,43 pu
10	0,63 pu	0,54 pu	0,41 pu	0,38 pu
11	1,63 pu	1,27 pu	0,90 pu	0,75 pu
12	1,57 pu	1,18 pu	0,53 pu	0,48 pu
13	0,71 pu	0,59 pu	0,44 pu	0,39 pu
14	2,34 pu	1,75 pu	1,24 pu	1,00 pu

(*): Os registros obtidos nos Pontos de Medição BT das Etapas 5, 6 e 7 foram desconsiderados porque a versão do programa de medição instalada no instrumento, nestas etapas, apresentava um erro no cálculo dos valores de Pst.

O fato de nos dois Pontos de Medição terem sido utilizados Analisadores de QEE com o módulo Flickermeter calibrado para 230 V, permite uma boa avaliação do efeito de atenuação na severidade de flicker verificado na propagação da flutuação de tensão da AT para a BT.

Considerando que a atenuação total verificada em cada Etapa (Fator ATBT) é composta de dois fatores:

- **Fator Scc:** correspondente à atenuação decorrente do valor da potência de curto circuito no Ponto de Medição AT ser menor que o valor da potência de curto circuito no barramento intermediário a partir do qual a flutuação de tensão se propaga para o Ponto de Medição BT. Quando este efeito é desprezível o Fator Scc foi considerado igual à unidade;
- **Fator de Transferência (FT):** corresponde à atenuação provocada por outros fatores como: saturação e ligação de transformadores; efeito das cargas girantes; etc....

Os Fatores de Transferência (FT) apurados na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3

Etapa	Fator Scc	Fator de Transferência (FT)	
		PstD95%	PltS95%
4	0.79	0.70	0.68
1	1	0.62	0.68
3	0.53	0.62	0.63
8	1	0.49	0.54
9	1	0.42	0.49
11	1	0.55	0.59
10	1	0.65	0.70
12	0.76	0.45	0.54
13	1	0.62	0.66
14	1	0.53	0.57

7. PANORAMA DA QUALIDADE DA TENSÃO QUANTO A FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

Os resultados obtidos na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS, onde foram monitorados um total de 38 pontos de medição nas 14 Etapas realizadas, constituem no mais completo levantamento da severidade de flicker associada à flutuação de tensão provocada pela operação de fornos elétricos a arco, já realizado no país.

O panorama que se obteve da qualidade da tensão no Sistema Elétrico brasileiro, quanto a flutuação de tensão, é apresentado através de gráficos onde os indicadores representativos da severidade de flicker, verificados em cada nível de tensão, são comparados com os respectivos limites que estão sendo recomendados pelos Procedimentos de Rede do ONS, em função da tensão nominal do barramento [5].

As Figuras 1 e 2 apresentam o panorama da qualidade da tensão nos barramentos de tensão nominal maior ou igual a 230 kV e as Figuras 3 e 4 apresentam o respectivo panorama nos barramentos de tensão nominal menor que 230 kV e maior ou igual a 69 kV.

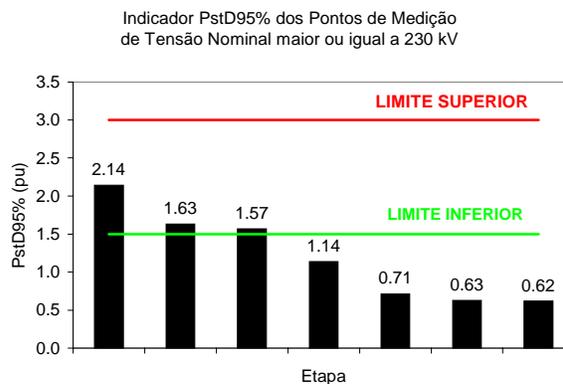


FIGURA 1

Indicador PItS95% dos Pontos de Medição de Tensão Nominal maior ou igual a 230 kV

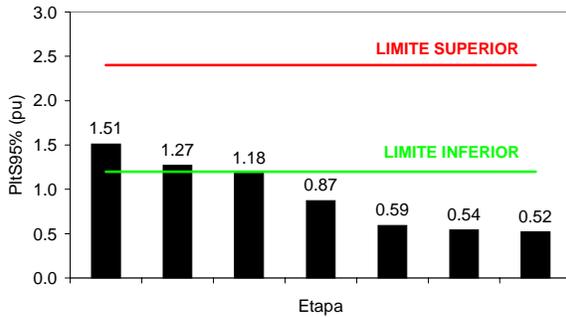


FIGURA 2

Indicador PstD95% dos Pontos de Medição de Tensão Nominal menor de 230 kV e maior ou igual a 69 kV

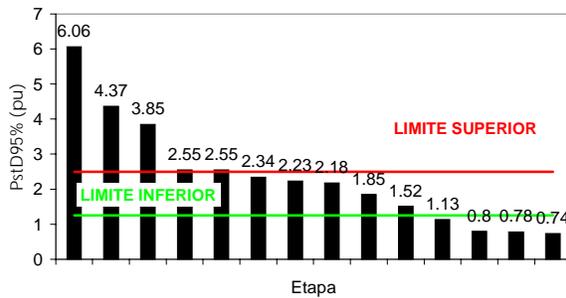


FIGURA 3

Indicador PItS95% dos Pontos de Medição de Tensão Nominal menor de 230 kV e maior ou igual a 69 kV

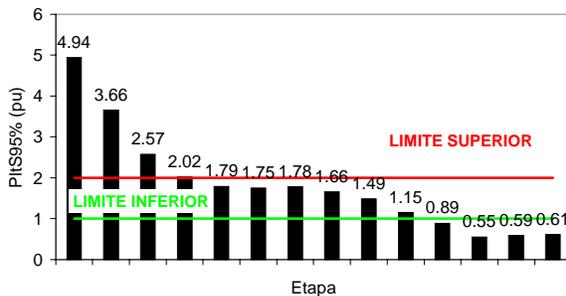


FIGURA 4

Quanto ao panorama da qualidade da tensão verificado nas Redes Secundárias de Distribuição, tendo em vista que em todos os Pontos de Medição BT foram utilizados Analisadores de QEE com o módulo Flickermeter calibrado para lâmpadas de 60 – 230 V, fez-se necessário corrigir os resultados obtidos onde a tensão nominal fase-terra era 127 V, de modo que os indicadores apurados em todas as Etapas pudessem ser comparados com os mesmos limites. Para a realização desta correção, os indicadores PstD95% e PItS95% correspondentes à Etapas, onde a tensão nominal BT era 127 V, foram divididos por uma constante igual 1,3 que corresponde a se obter uma aproximação dos resultados que seriam obtidos se

tivessem sido usados, nestas Etapas, Analisadores de QEE com o módulo Flickermeter calibrado para lâmpadas de 60 W – 127 V, as quais tem uma menor sensibilidade à flutuação da sua tensão de alimentação.

Os gráficos que representam o panorama da qualidade da tensão verificada nas Redes Secundárias de Distribuição do Sistema Elétrico brasileiro, sujeitas ao efeito da flutuação de tensão provocada pela operação de fornos a arco, são apresentados nas Figuras 5 e 6

Indicador PstD95% dos Pontos de Medição nas Redes Secundárias de Distribuição

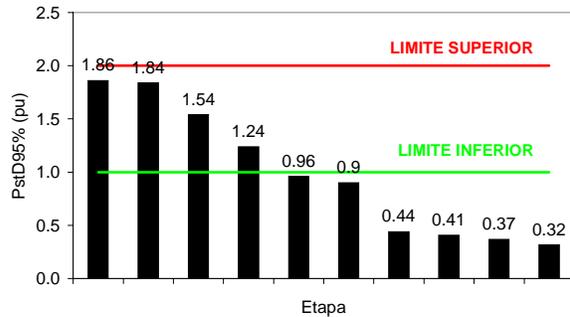


FIGURA 5

Indicador PItS95% dos Pontos de Medição nas Redes Secundárias de Distribuição

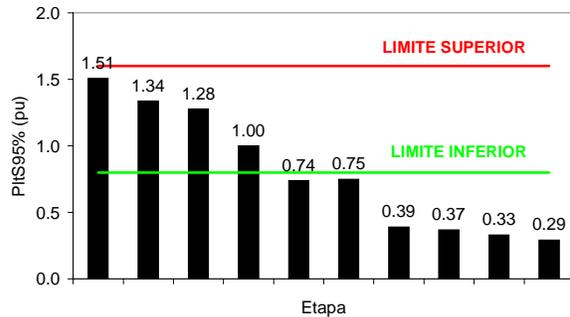


FIGURA 6

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS permitem as seguintes considerações sobre os indicadores e padrões que estão sendo propostos nos Procedimentos de Rede do ONS [5], para o controle da qualidade da tensão da Rede Básica quanto a flutuação de tensão:

8.1 Indicadores PstD95% e PItS95%

Os indicadores PstD95% e PItS95% se mostraram apropriados para avaliar a qualidade da tensão nas barras da Rede Básica, Ponto de Medição AT, quanto à flutuação de tensão provocada pela operação de fornos arco, não sendo afetados pela ocorrência de Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD).

O mesmo não se pode falar destes indicadores quanto aplicados na avaliação dos Pontos de Medição BT onde, em várias Etapas, foi necessário se expurgar os registros comprometidos por VTCD associadas à ocorrências no Sistema Elétrico (curto-circuitos).

8.2 Fator de Transferência (FT)

A atenuação verificada na propagação da flutuação de tensão, do Ponto de Medição AT para a o Ponto de Medição BT num mesmo Sub-sistema, mostrou que é muito apropriado que os padrões propostos para os indicadores PstD95% e PltS95% na Rede Básica, sejam definidos tendo como base os limites admitidos para as Redes Secundárias de Distribuição, onde o efeito flicker é perceptível, através do uso de Fatores de Transferência (FT), conforme indicado nos Procedimentos de Rede do ONS [5]:

- FT = 1,00 para barramentos de tensão nominal menor que 69 kV ;
- FT = 0,80 para barramentos de tensão nominal maior que 69 kV e menor ou igual a 230 kV ;
- FT = 0,65 para barramentos de tensão nominal maior ou igual a 230 kV.

Considerando os valores apurados na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS para o FT associado ao indicador PltS95% (**FTPltS95%**), conforme mostrado na Tabela 4, tem-se que o valores de FTPltS95% que foram superados em apenas 5 % (FT95%) foram:

- **FT95% = 0,8** para barramentos de tensão nominal maior que 69 kV e menor ou igual a 230 kV ;
- **FT95% = 0,7** para barramentos de tensão nominal maior ou igual a 230 kV.

TABELA 4

FTPltS95%	
69 kV ≤ V < 230 kV	V ≥ 230 kV
0,80	0,70
0,70	0,66
0,68	0,63
0,68	0,59
0,57	0,54
0,54	0,49

A comparação dos valores de FT95% obtidos na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS com os respectivos valores de FT considerados nos Procedimentos de Rede do ONS [5], permite concluir que os valores propostos estão apropriados.

8.3 Procedimento & Padrões

Quanto ao que esta sendo adotado nos Procedimentos de Rede do ONS [5], os resultados obtidos na Campanha de Medição ABRACE/IBS/ONS forneceram as seguintes indicações:

- Apesar de estarem sendo superados os limites estabelecidos nas antigas recomendações do

GCOI & GCPS [2], **Pst ≤ 1 pu e Plt ≤ 0,8 pu**, em apenas um dos Pontos de Medição BT, conforme informações dos Agentes Distribuidores, existe o registro de reclamações que demandam a necessidade de adoção de medidas mitigadoras, confirmando que é apropriado o estabelecimento dos limites por faixas, Limite Global Inferior e Limite Global Superior, visando considerar do caráter subjetivo do incômodo provocando efeito flicker.

- Quanto ao fato do panorama da qualidade da tensão indicar que em 3 (três) barramentos estão sendo superados os Limites Superiores estabelecidos para os respectivos indicadores, ver Figuras 3 e 4, a constatação de que isto não é verificado nos Pontos de Medição BT, ver Figuras 5 e 6, indica que, sempre que possível, é recomendável a realização de medições da severidade de flicker nas Redes Secundárias de Distribuição dos sub-sistemas correspondentes, como forma de se evitar investimento desnecessário em medidas corretivas.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] CECE-SCCEL/GCOI & GTCP-CTST/GCPS Critérios e Procedimentos para o Atendimento a Consumidores com Cargas Especiais; Fevereiro/1993.
- [2] CECE-SCCEL/GCOI & GTCP-CTST/GCPS Critérios e Procedimentos para o Atendimento a Consumidores com Cargas Especiais – Revisão 1; Nonembro/1997.
- [3] ARRUDA, A. A. C., CAVALCANTI, F. L. A. P., MONTELLI, R., VILARES, N. S., BRITO PEDRO, A., Análise de Flutuação de Tensão: Experiência da Eletropaulo; XIV SNPTEE.
- [4] IEC, Flickermeter – Functional and design specifications; Publicação 61000-4-15 1997.
- [5] ONS, Padrões de Desempenho da Rede Básica; Submódulo 2.2 dos Procedimentos de Rede.