



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

GCQ-04  
19 a 24 Outubro de 2003  
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIII  
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE  
ENERGIA – GCQ**

## **AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DO AFUNDAMENTO DE TENSÃO NA INDÚSTRIA**

**Mário Fabiano Alves  
PUC MG**

**Janaina Gomes da Costa\*  
PUC MG**

### **RESUMO**

Os problemas associados à ocorrência de distúrbios da qualidade da energia elétrica, em especial os afundamentos de tensão, tendem a se agravar devido ao crescente aumento da sensibilidade das cargas industriais. Em consequência, os prejuízos associados tendem a ser bem mais elevados. A metodologia apresentada neste artigo engloba a estimativa da quantidade, amplitude e duração dos afundamentos de tensão associada com a avaliação da compatibilidade da carga com as solicitações do sistema de suprimento e, finalmente avaliação estimativa do custo de interrupção de energia, compondo uma metodologia integrada, que objetiva estimar o custo da interrupção de processos gerada pelo afundamento de tensão.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Afundamento de Tensão. Qualidade de Energia. Confiabilidade de Processos. Sensibilidade de Equipamentos. Custo de Interrupção.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

As modernas indústrias de alta tecnologia necessitam de energia confiável e de alta qualidade. Um fornecimento elétrico de qualidade insuficiente pode levar a uma inadequada qualidade dos produtos, interrupção de processos industriais e, conseqüentemente, a perdas econômicas. Além disso, nas empresas e instalações consumidoras em geral, é cada vez maior a quantidade de equipamentos sensíveis à baixa qualidade da tensão e às interrupções de curta duração.

Dentre os fenômenos que influenciam a qualidade de

energia, este artigo está direcionado para o estudo do afundamento de tensão. De acordo com pesquisas de campo relatadas na literatura [1], afundamentos de tensão (voltage sags) constituem o principal fenômeno responsável pela interrupção parcial ou total de processos produtivos.

### **2.0 - AFUNDAMENTO DE TENSÃO**

#### **2.1 Definição**

O afundamento de tensão é um evento de curta duração em que o valor eficaz (média quadrática) da tensão é superior ou igual a 0,10 p.u. e inferior a 0,90 p.u. em relação à tensão nominal do sistema no ponto considerado durante o intervalo de tempo de um ciclo (16,67 ms) a um minuto [2]. Um afundamento de tensão de 0,70 p.u. significa que a tensão tenha sido reduzida de 1,0 p.u. para 0,70 p.u., representando, portanto, uma queda de 0,30 p.u.

#### **2.2 Causas**

Os afundamentos de tensão no sistema elétrico são gerados devido a duas principais causas: as faltas (curto-circuito) no sistema elétrico e a partida de grandes motores [3]. As perdas de geração, saída de linhas de transmissão e entrada de cargas, após a ocorrência de contingências, também podem ser causas dos afundamentos de tensão.

### **3.0 - CÁLCULO ESTOCÁSTICO DO AFUNDAMENTO DE TENSÃO**

Devido à aleatoriedade e pequena frequência das ocorrências dos afundamentos de tensão, a obtenção de dados estatísticos confiáveis através de medições

\*Av. Dom José Gaspar, 500 - Coração Eucarístico - CEP: 30.535-610 - Belo Horizonte – MG – Brasil.  
Tel.: (31) 33194310– E-Mail: janainagomescosta@hotmail.com

não é uma alternativa conveniente. A tabela 1 confirma esta afirmativa e mostra o período de monitoramento necessário em função do número esperado de afundamentos de tensão, assim como do grau de confiança desejado [4]. Para um evento que ocorra uma vez por mês, teríamos que monitorar 1 ano para obter uma precisão de 50% e 30 anos para obter uma precisão de 10%. Para a obtenção dos números apresentados na tabela 1 foi utilizada a distribuição de Poisson. Fica, portanto evidenciada a necessidade de se obter essas informações através de um processo de cálculo computacional.

TABELA 1 - PERÍODO MÍNIMO DE MONITORIZAÇÃO E PRECISÃO DESEJADA

Freqüência de Ocorrência do Afundamento de Tensão	Precisão de 50%	Precisão de 10%
1 por dia	2 semanas	1 ano
1 por semana	4 meses	7 anos
1 por mês	1 ano	30 anos
1 por ano	16 anos	400 anos

Para a realização da estimativa do afundamento de tensão, deve-se estabelecer a estimativa de seus principais elementos caracterizadores, ou seja, amplitude, duração e freqüência de ocorrência. Para o cálculo da amplitude, utilizam-se ferramentas clássicas de cálculo de curto-circuito. Para a estimativa da duração dos eventos, utilizam-se os tempos correspondentes à atuação do sistema de proteção, somado ao tempo de abertura dos disjuntores. Finalmente para estimar o número de ocorrências anuais dos afundamentos de tensão, são utilizadas as estatísticas de taxas de falta em barramentos, linhas de transmissão, etc. Os resultados das simulações serão mais confiáveis, à medida que os dados do sistema forem mais precisos, como por exemplo: modelagem dos equipamentos, componentes e dados de taxas de falta, principalmente das linhas de transmissão e distribuição [5].

### 3.1 Estimativa da Amplitude, Duração e Freqüência de Ocorrência [6].

A amplitude de um afundamento de tensão é calculada através de ferramentas de análise de curto circuito. O programa utilizado para executar esta tarefa foi o Anafas<sup>1</sup>.

O Anafas permite o cálculo de faltas em pontos intermediários de uma linha de transmissão. A partir desta característica do programa é possível estudar a variação da amplitude e da duração de um afundamento de tensão em função do deslocamento da falta ao longo de uma linha.

A duração do distúrbio é definida pelos tempos de atuação da proteção utilizada no sistema elétrico em estudo.

Para o cálculo da freqüência de ocorrência dos afundamentos, são utilizadas taxas médias de falhas

<sup>1</sup> Análise de Faltas Simultâneas (ANAFAS), marca registrada do Centro de Desenvolvimento de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL).

das linhas do sistema, obtidos dos registros históricos de operação das linhas.

A intensidade e a duração do afundamento de tensão dependem da localização do curto circuito ao longo da linha. As posições dos curtos circuitos simulados são escolhidas de forma aleatória no intuito de representar melhor o processo real de descarga atmosférica.

Por causa da característica estocástica do processo estudado, são necessárias simulações de vários anos de funcionamento de um sistema para que se possa ter uma estimativa confiável. O objetivo é a construção de um histórico de funcionamento do sistema, através destas simulações, para que um valor médio de ocorrências de afundamentos seja conseguido. São simulados N anos de funcionamento do sistema e a média de ocorrências é então estimada.

O processo se inicia com simulações computacionais que têm como resultados pares de dados referente à Amplitude e Tempo de Duração dos afundamentos. Para analisar estes dados, primeiramente eles são organizados em Distribuições de Freqüência.

Cada ano simulado dá origem a uma distribuição de freqüência referente às ocorrências. A partir deste conjunto de dados são obtidos alguns parâmetros estatísticos. São calculados a média aritmética de ocorrências e o erro na estimativa desta média.

### 3.2 SCEAT - Sistema de Cálculo Estocástico do Afundamento de Tensão [7]

O aplicativo utilizado para as simulações do afundamento de tensão, o SCEAT, foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa sobre Qualidade de Engenharia Elétrica da Puc-MG, com financiamento da Cemig.

O aplicativo possui uma interface para entrada de dados técnicos referentes ao sistema em estudo. Estes dados são armazenados no banco de dados e também são utilizados para a construção automática de arquivos textos que servirão como entrada de dados para o programa Anafas.

Os arquivos de saída gerados pelo Anafas, contem dados referentes aos pontos de falta e pontos de monitoração das simulações feitas pelo software. O sistema SCEAT tem uma função para a importação e filtragem destes arquivos, gravando no banco de dados só os dados desejados.

Os dados referentes às taxas de falha e tempos de atuação da proteção são informados pelo usuário em telas específicas. Além destes dados, devem ser informados também os dados referentes às simulações que serão feitas no SCEAT: a barra a ser monitorada e o número de simulações a serem feitas. Estas simulações têm como objetivo reproduzir um número de anos de funcionamento de um sistema e obter como resultado uma média de afundamentos de tensão classificados em faixas de amplitude e tempo de duração. A partir destes resultados o sistema emitirá relatórios e gráficos para posterior análise.

#### 4.0 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E CONFIABILIDADE DE SISTEMAS

A sensibilidade de processos está diretamente ligada com a confiabilidade. Esta variável influencia diretamente a competitividade de uma indústria. O modelo de cálculo a ser utilizado neste artigo é o Modelo de N estados [5].

##### 4.1 Sensibilidade da Carga

A sensibilidade de um equipamento pode ser definida como a tolerância de manutenção do seu perfeito funcionamento mediante excitações externas e internas transmitidas pelo sistema. Quando tratamos de sistemas, a análise da sensibilidade deve levar em conta as sensibilidades individuais dos equipamentos que compõe o sistema bem como a topologia do mesmo.

Os equipamentos eletrônicos devem ser projetados para satisfazer critérios de sensibilidade predefinidos, atendendo a recomendações de normas, de associações de fabricantes, ou mesmo a especificações técnicas específicas. Um exemplo é a curva CBEMA, a qual foi originalmente proposta para caracterizar a sensibilidade de computadores. A curva ITIC surgiu mais recentemente, como uma nova versão da curva CBEMA, caracterizando melhor a sensibilidade dos computadores e demais equipamentos, a fim de acomodar mais adequadamente a diversidade dos modernos dispositivos eletrônicos (figura 1) [8].

A curva apresentada na figura 1 é apenas orientativa, sendo difícil estabelecer um padrão de comportamento para os equipamentos eletro-eletrônicos devido à diversidade de modelos e fabricantes. Embora ainda de forma tímida, alguns fabricantes já começam a disponibilizar as curvas de sensibilidade para seus equipamentos. Isto já ocorre, por exemplo, no caso de alguns conversores para acionamento de motores à velocidade variável.

##### 4.2 Modelo de N Estados [5]

O modelo para a análise da sensibilidade e confiabilidade está baseado nos estados de falha e estados de sucesso, sendo analisados somente os estados de falha, os quais comprometem a continuidade operacional dos processos dos consumidores.

Cada componente do sistema do consumidor é representado segundo a sensibilidade dos equipamentos/processos envolvidos. Esta sensibilidade é definida através de limites de tolerância de intensidade ( $V_L$ ) e duração ( $D_L$ ). A figura 2 mostra a curva de sensibilidade genérica de uma unidade produtiva. Os estados 1 e 2 são os estados operantes e inoperantes, respectivamente.

A interrupção de cada componente ocorrerá se as condições estabelecidas na equação forem satisfeitas:

$$(V_C < V_L) \square (D_C > D_L)$$

Onde  $V_C$  e  $D_C$  são, respectivamente, a intensidade e duração do componente em um dado instante.

Em geral, os processos industriais são constituídos de diversas unidades produtivas associadas de diversas maneiras, dependente das particularidades do processo de cada consumidor. Pode-se imaginar três possibilidades de associação, quais sejam:

- Unidades operando em série, ou em cascata. Nesta configuração, o desligamento de qualquer uma das unidades resultará na interrupção de todo o processo do consumidor;
- Unidades operando em paralelo. Nesta condição, a parada total do processo ocorrerá somente se todas as unidades forem desligadas. Para qualquer situação intermediária, haverá perda parcial da produção;
- Unidades operando numa associação mista, ou seja, numa configuração série e paralelo;

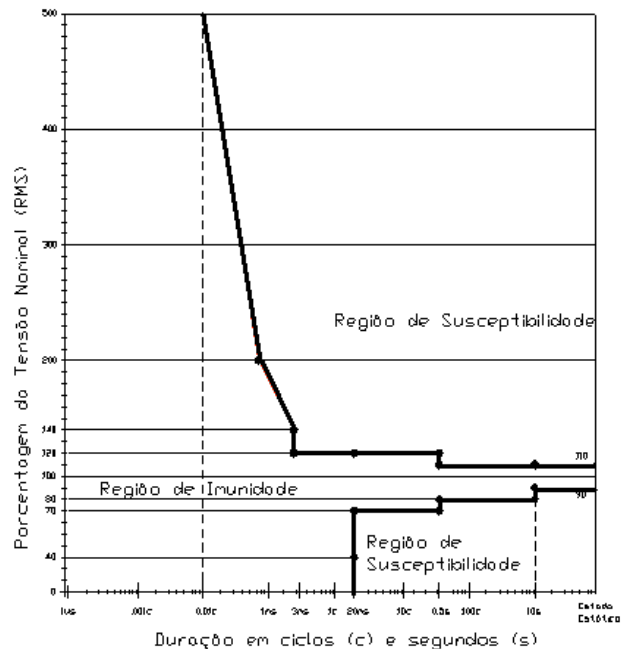


FIGURA 1 – CURVA ITIC

O diagrama de blocos da figura 3 ilustra a metodologia proposta em [5]. U1, U2 e U3 representam os níveis de sensibilidade correspondentes do processo ilustrado na figura 3. A partir desses dados pode-se estabelecer as condições operativas possíveis (figura 4)

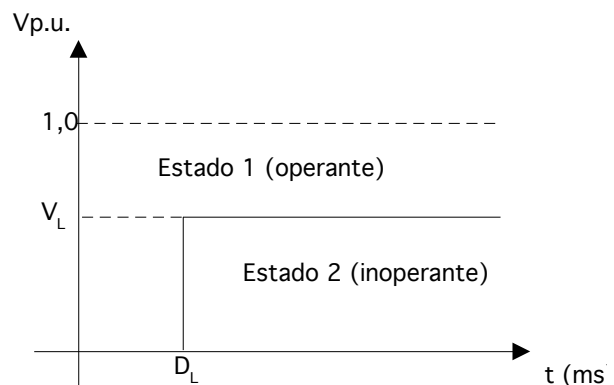


FIGURA 2 - CURVA DE SENSIBILIDADE GENÉRICA

A partir do gráfico da figura 4 são definidos para o diagrama de blocos da figura 3 os possíveis estados operativos do complexo industrial, permitindo estabelecer as seguintes condições operativas (fig. 5):

- Planta operando com capacidade total, estado E8;
- Planta operando com capacidade parcial, estados E6 e E7;
- Planta fora de operação, demais estados.

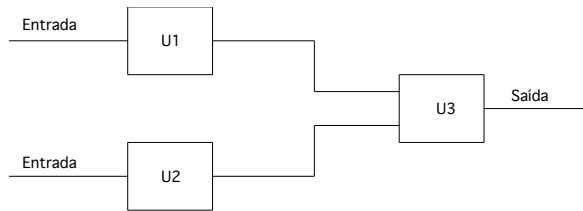


FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DE UM PROCESSO

Desta forma fica caracterizado o modelo da sensibilidade equivalente do processo do consumidor, contemplando as diversas possibilidades operacionais das unidades produtivas.

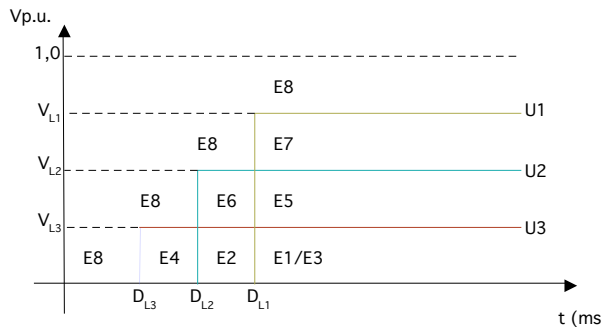


FIGURA 4 – SENSIBILIDADE EQUIVALENTE DO CONSUMIDOR

## 5.0 IMPACTO ECONÔMICO DO AFUNDAMENTO DE TENSÃO

Os custos de interrupção para os consumidores estão relacionados com o valor monetário das perdas geradas pela interrupção do fornecimento de energia ou problemas de qualidade de energia. Estes custos variam de consumidor para consumidor como uma função de alguns fatores, incluindo:

- Dependência do consumidor da eletricidade;
- A natureza e momento do distúrbio;
- O valor monetário da atividade interrompida.

Tipicamente, aproximadamente 15% do custo do prejuízo com matéria prima, durante uma de interrupção de 4hs, acontece dentro dos primeiros segundos da interrupção, sendo que 60% do prejuízo ocorre na 1ª hora de desligamento [9]. Esta afirmação confirma a importância dos distúrbios de curta duração sob o aspecto econômico.

### 5.1 Estimativa do Custo de Interrupção de Consumidores Industriais [10]

O custo de produtos e materiais danificados - SPC contraído anualmente pela interrupção em um processo produtivo pode ser calculado através de:

$$SPC = \sum_{i=1}^f [v_i t_i + m_i t_i] \frac{Q}{h}$$

Onde:

Q - valor anual total de material danificado ou produto que teve sua produção interrompida a ser acrescentado no custo final devido a qualquer problema de produção, inclusive devido ao afundamento de tensão, ao final de um ano típico;  
h - tempo total de operação em horas em um ano típico;  
f - frequência de ocorrência de afundamentos de tensão que gerem interrupção em um ano típico;  
t<sub>i</sub> - duração do distúrbio i em horas;  
v - custo médio das perdas de produtos e materiais devido a ocorrências de afundamento de tensão em %Q ao longo de um ano típico;  
m - custo médio da perda em outros setores devido a ocorrências de afundamento de tensão em %Q ao longo de um ano típico.

v e m incluem produtos e materiais danificados sendo expressos como a porção média correspondente de Q/h gerada por afundamento de tensão, ou seja:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^f [v_i]}{f} \quad e \quad m = \frac{\sum_{i=1}^f [m_i]}{f}$$

Onde:

v<sub>i</sub> - custo das perdas de produtos e materiais devido a um distúrbio i;  
m<sub>i</sub> - custo das perdas em outros setores devido a um distúrbio i;

A produção interrompida resulta em custo na forma de capital e mão de obra ociosa - IFC que pode ser calculado por:

$$IFC = \sum_{i=1}^f [\alpha_i t_i + \beta_i t_i] \frac{Q}{h}$$

Onde:

α - fração da produção normal não produzida durante o desligamento;  
β - fração da produção normal não produzida durante o religamento;  
t<sub>i</sub> - tempo de religamento de um distúrbio de duração t<sub>i</sub>.

Indústrias que não produzem durante as 24 horas do dia também têm a opção de recuperar uma fração α da produção perdida com a interrupção, através de trabalho em regime de hora extra. Em muitos casos não é viável para a indústria pelo fato de existir um custo extra associado. A indústria deve levar em consideração obrigações trabalhistas para conduzir uma decisão de trabalho em regime de hora extra para recuperar a perda da interrupção. As horas extras de produção necessárias para esta recuperação são dadas por:

$$h_o = \sum_{i=1}^f [\alpha_i t_i + (\beta_i + \alpha_i t_i) (\alpha_i t_i + \beta_i t_i)]$$

O custo desta recuperação para produção em hora extra - OTC pode ser medido como:

$$OTC = h_o \frac{\square}{\square} \frac{L}{h}$$

Onde:

- L - valor de mão de obra anual a ser acrescentado;
- $\square$  - porcentagem do salário em hora extra;
- $\square$  - porcentagem do salário em hora normal;

Finalmente, o custo de interrupção - OC gerada pelo afundamento de tensão anualmente, pode ser determinado por:

$$OC = SPC + IFC + OTC \square E + DIV$$

Onde:

- E - custo da energia não consumida durante a interrupção do processo;
- DIV - Custos diversos associados não especificados nas equações anteriores conseqüentes da ocorrência de um distúrbio, específicos de um processo.

6.0 - CASO EXEMPLO

O caso exemplo foi desenvolvido em uma indústria do setor de laticínios, a qual pela característica de seu processo e produto envolvido, mostrou-se prejudicada pelos distúrbios do afundamento de tensão.

6.1 Estimativa de Afundamento de Tensão no Barramento da Indústria

A indústria exemplo é alimentada em 13,8kV. Para o cálculo da distribuição estatística dos afundamentos de tensão foi considerado todo o sistema regional da concessionária de energia elétrica, envolvendo aproximadamente um total de 2990 km de linhas de transmissão e 1210 km de linhas de distribuição.

A tabela 2 apresenta os resultados da simulação realizada pelo software SCEAT [7]. Foi obtido o número estimativo médio de ocorrências de afundamentos de tensão classificados nas faixas de tensão e tempo para a barra do consumidor.

TABELA 2 - MÉDIA DE OCORRÊNCIA (AFUNDAMENTOS) POR ANO PARA UMA AMOSTRA DE 120 SORTEIOS (120 ANOS) – MONITORAÇÃO BARRA DO CONSUMIDOR.

V (pu)	200 (ms)	300 (ms)	700 (ms)	800 (ms)
0,9	15,84	0,06	20,66	0,86
0,8	20,08	0,07	14,07	0
0,7	5,75	0,01	7,76	0
0,6	5,6	0	4,09	0
0,5	3,34	0	1,64	0
0,4	1,22	0	0,64	0
0,3	0,31	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,1	0	0	0	0
0,0	0	0,21	0	0,79

6.2 Sensibilidade das Cargas

O processo de industrialização do leite possui o fluxograma apresentado na figura 5. De posse do fluxograma, após o acompanhamento e análise do processo, identificou-se os possíveis equipamentos sensíveis a distúrbios de tensão. As máquinas responsáveis pela esterilização, envase e

empacotamento são as mais sensíveis, já que as mesmas possuem controladores lógicos programáveis para executar as suas funções.

Na tabela 3 estão apresentados alguns dados estimados de suportabilidade dos equipamentos sensíveis para as máquinas de esterilização, envase e equipamentos de distribuição envolvidos no processo. Sobrepondo a tabela 3 a tabela 2, obtemos o gráfico da figura 6 o qual apresenta a curva de sensibilidade equivalente do consumidor.

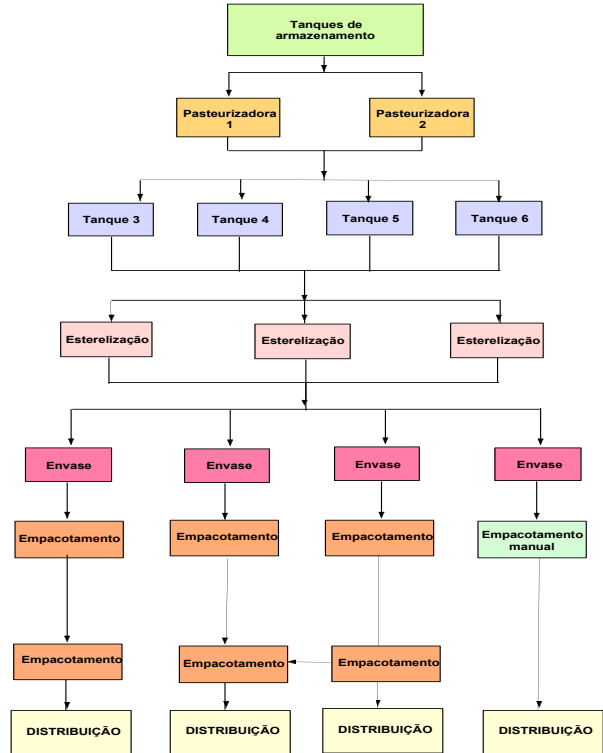


FIGURA 5 – FLUXOGRAMA PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DO LEITE

Sobrepondo a tabela 3 a tabela 2, obtemos o gráfico da figura 6 o qual apresenta a curva de sensibilidade equivalente do consumidor.

TABELA 3 - ESTIMATIVA DA FAIXA DE SENSIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS DO PROCESSO

Equipamento	Duração (ms)	Intensidade (p.u.)
Esterilização	~600	0,90
Envase	~700	0,70
Empacotamento	~800	0,50

O número estimativo médio de interrupções será a soma dos números médios de ocorrência de afundamento das interrupções para todas as faixas compreendidas abaixo da curva de sensibilidade dos equipamentos de esterilização, ou seja, 28,99 eventos/ano.

6.3 Estimativa do Custo de Interrupção

Para a estimativa do custo de interrupção foram obtidos alguns dados de produção junto à indústria em estudo. Alguns dados necessários à estimativa os quais não estavam disponíveis, foram estimados

devido ressaltar a necessidade de dados que retratem a realidade para a obtenção de resultados precisos.

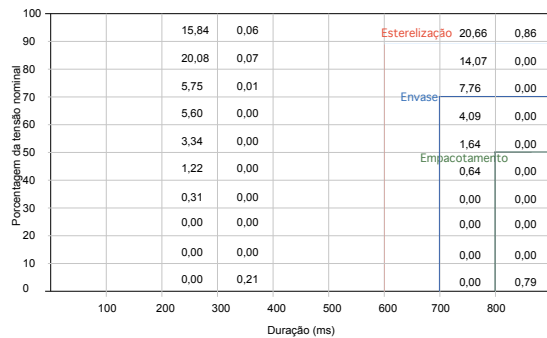


FIGURA 6 - CURVA ESTIMATIVA DA SENSIBILIDADE EQUIVALENTE DO CONSUMIDOR

Abaixo encontra-se os dados coletados na indústria e utilizados para a obtenção da estimativa de custo.

$h = 8760$  hs - regime contínuo de funcionamento;

$t_i$  - obtido da tabela 2;

$v = R\$ 4.860,00$  para ocorrências que afetem equipamentos de esterilização,  $R\$ 22.950,00$  para os demais;

$m = 0$  - considerando que as ocorrências dos ATs não geram perdas em outros setores que não a produção;

$f = 28,99$  ocorrências - obtido da análise da sensibilidade (figura 6);

$\bar{p} = 0,8$  - 80% da produção total do consumidor é comprometida em uma ocorrência, sendo os outros 20% referentes aos demais setores da indústria;

$\bar{t}_i = 3$  horas - tempo de religamento independente da

duração do evento para o caso do consumidor, pois antes de qualquer retomada à produção, deve ser realizada a CIP (limpeza no local);

$\square = 0$  - não existe folga na produção;

$\square = 0,7$  - 70% da produção deve ser recuperada em regime de hora-extra;

$\square = R\$900,00$  - valor fictício;

$\square = R\$1.350,00$  - valor fictício

$E = 0$  - considerando que as máquinas estarão consumindo energia durante o processo de CIP;

$DIV = R\$1.500,00$  custo anual relativo à materiais de limpeza necessário à realização da CIP das ocorrências de AT;

$Q = R\$215.000,00$  - valor fictício;

$L = R\$30.000,00$  - valor fictício.

Inserindo os dados acima nas equações apresentadas na seção 5.1, obtém-se os valores de SPC, IFC, OTC e finalmente, OC. O valor encontrado, OC  $\square R\$4.510,00$ , representa o prejuízo estimado da indústria com os afundamentos de tensão.

## 7.0 - CONCLUSÃO

A metodologia integrada, apresentada neste artigo utilizando o cálculo estocástico de afundamento de tensão, o modelo de N estados para a identificação da sensibilidade do processo industrial, e uma estimativa detalhada do custo imposto ao consumidor, permite a obtenção de resultados mais seguros relativos ao impacto dos afundamentos na indústria, compondo

assim uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões no que concerne à mitigação do problema.

A veracidade dos dados utilizados nas equações para os cálculos dos parâmetros relacionados com o custo é de enorme importância para a obtenção de uma estimativa de custo confiável. Os valores obtidos no caso exemplo podem representar valores mais precisos a partir do momento em que a indústria tenha conhecimento dos dados a serem coletados em caso de ocorrências de afundamentos de tensão.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wagner, V. E., et al. Power Quality and Factory Automation, IEEE Transactions On Industry Application, Vol. 26, Julho/Agosto, 1990, pp. 620-626.
- [2] Operador Nacional do Sistema Elétrico. Padrões de Desempenho da Rede Básica. Submódulo 2.2, Revisão 2. Dezembro 2002. Disponível em: <http://www.ons.org.br/ons/procedimentos/abertura.htm> Acesso em 30 jan. 2003.
- [3] Lamoree, Jeff, et al. Voltage sag analysis case studies, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, Julho, 1994, no. 4
- [4] Operador Nacional do Sistema Elétrico. Cálculo de Afundamento de Tensão - Projeto Piloto Minas, 59p. Julho, 2001.
- [5] Filho, José Maria de Carvalho. Uma Contribuição à Avaliação do Atendimento a Consumidores com Cargas Sensíveis - Proposta de Novos Indicadores. Tese de Doutorado. Itajubá, 2000. 112p. Escola Federal de Itajubá.
- [6] Fonseca, Viviane Reis de Carvalho. Cálculo Estocástico do Afundamento de Tensão. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, 1999. 119p. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- [7] Projeto GERQUALI. SCEAT - Sistema de Cálculo Estocástico de Afundamento de Tensão - Versão 1.0 - Manual de Utilização, volume 3. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica - Puc MG, Belo Horizonte, Abril 2002.
- [8] Information Technology Industry Council. ITI (CBEMA) Curve Application Note. Technical Report, Information Technology Industry Council, <http://www.itic.org/technical/iticurv.pdf>, Acesso em: 5 de Agosto 2002
- [9] Sullivan, Michael J., Vardell, T., Johnson, M. Power Interruption Costs to Industrial and Commercial Consumers of Electricity. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, no.6, pp. 1448-1457, Novembro 1997.
- [10] Munasinghe, M., Gellerson, M. Economic Criteria for Optimizing Power System Reliability Levels. Bell Journal of Economics, pp. 353-365, 1979.