



## XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

### Proposta de Sistema Especialista para Localização, Análise e Soluções de VTCDs em Consumidores Industriais

<b>Jorge Coelho</b>	<b>Edison A. C. Aranha Neto</b>	<b>Arlan Luiz Bettiol</b>
<b>LabPlan/UFSC</b>	<b>LabPlan/UFSC</b>	<b>Quântico</b>
coelho@labplan.ufsc.br	earanha@labplan.ufsc.br	arlanbettiol@matrix.com.br
<b>Samuel Thomae</b>	<b>Jones C. Pereira</b>	<b>Gonçalo M. Coelho</b>
<b>LabPlan/UFSC</b>	<b>LabPlan/UFSC</b>	<b>Quântico</b>
samuel@labplan.ufsc.br	jonescambuzzi@labplan.ufsc.br	goncalo.m.coelho@gmail.com
<b>Sérgio Zimath</b>	<b>Rogério Braz</b>	<b>Rafael Z. Homma</b>
<b>Quântico</b>	<b>CELESC</b>	<b>CELESC</b>
sergio@quantico.com.br	rogeriob@celesc.com.br	rafaelzh@celesc.com.br

#### Palavras-chave

Curva ITIC

Metodologia Multicritério

Qualidade da Energia Elétrica

Sistema Especialista

Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD)

#### Resumo

O desenvolvimento e implementação computacional de uma metodologia para localização, análise e soluções de VTCDs é bastante relevante devido à grande quantidade de cargas não lineares atualmente utilizadas nas plantas industriais. A metodologia proposta, de caráter multivariável, foi desenvolvida a partir de uma Base de Conhecimento, a qual é constituída de quatro listas inter-relacionáveis e de metodologias multicritério. Além disso, utilizando-se um sistema especialista fundamentado em uma base de regras e uma base de conhecimento desenvolvida por especialistas na área de Qualidade de Energia Elétrica, é possível se realizar o cálculo do índice *C2P*. Este índice pode ser utilizado em uma Análise *a Priori* com o objetivo de se determinar as **Cargas Potencialmente Poluidoras** ou, através do auxílio de um conjunto de medições de parâmetros elétricos, se efetuar uma Análise *a Posteriori*, tendo esta o intuito de se atribuir um índice comparativo aos **Consumidores Potencialmente Poluidores**. Desta forma, é possível se verificar quais são os consumidores mais propícios à produção de distúrbios nas redes de distribuição de energia elétrica. Além da base de conhecimento desenvolvida, estas análises podem incluir também outros recursos, como as curvas ITIC e SEMI, para um julgamento mais criterioso pelos especialistas das empresas.

## 1. Introdução

O setor industrial está cada vez mais dependente de energia elétrica e, por consequência, exige uma melhor qualidade deste tipo de energia. O nível adequado da qualidade da energia fornecida a uma instalação industrial é aquele que permite ao consumidor operar sua empresa com a máxima eficiência. Ou seja, as alterações na tensão, corrente, potência ou outra característica do sistema de energia não devem causar interrupções ou redução do potencial de produção do consumidor.

A avaliação da qualidade surgiu a partir da indústria focada inicialmente somente no controle de qualidade (basicamente conformidade) dos produtos manufaturados. Com a evolução dos produtos e serviços, a qualidade se tornou essencial para todos os setores, seja para empresas que trabalham na prestação de serviços (como energia elétrica ou telefonia), ou mesmo na inter-relação entre as áreas funcionais dentro de uma organização industrial.

Além do nível inadequado de tensão e das interrupções sustentadas, os principais eventos que prejudicam a qualidade da energia são os fenômenos de qualidade de energia. Dentre eles, os que causam maiores prejuízos são as variações de tensão de curta duração (VTCD - como o *Sag*, *Swell* e a interrupção rápida) e a distorção harmônica.

A maioria dos estudos sobre problemas de qualidade de energia em indústrias relata como mais apropriadas aquelas soluções técnicas localizadas na própria instalação do consumidor (COELHO *et al.*, 2009). Contudo como no Brasil os limites de perturbações relacionados aos fenômenos de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) ainda estão sendo discutidos e existem várias fontes e normas nacionais e internacionais apontando valores diferentes (IEEE519, IEEE1159, PRODIST, ONS, CIGRÉ), se justifica o desenvolvimento de ferramentas para identificar distúrbios, avaliar o problema e apontar possíveis soluções.

## 2. Metodologia

A metodologia utilizada para identificar e localizar áreas afetadas e/ou expostas a problemas de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) é de natureza multivariável, pois avalia consumidores quer sejam poluidores ou quer sejam sensíveis a fenômenos tais como: *Sag*, *Swell*, Harmônicas, Desequilíbrios de tensão, etc.

Para tanto, utiliza-se um Sistema Especialista onde, através de uma base de regras e de uma avaliação multicritério (BELTON & STEWART, 2003), determinam-se quais equipamentos e respectivas aplicações são causadores/sensíveis à QEE. Tais regras são a Base de Conhecimento suportada por quatro extensas listas, sendo a Lista\_1 definida pelos equipamentos ou ações poluidoras da QEE, a Lista\_2 é referente aos equipamentos susceptíveis aos fenômenos, a Lista\_3 às soluções destinadas a cada fenômeno e a Lista\_4 possui as atividades industriais/comerciais de cargas potencialmente poluidoras.

Através das regras obtidas com a interligação entre as listas (Máquina de Inferência), a concessionária pode identificar quem é o agente poluidor, apontar soluções padronizadas de forma rápida caso ocorra a interrupção de algum equipamento em um dado cliente e definir quais áreas são potencialmente poluidoras.

## 2.1. Descrição das Listas

Como citado anteriormente, a Base de Conhecimento se baseia em quatro listas: Poluidores, Equipamentos Susceptíveis, Soluções e Atividades (COELHO *et al.*, 2010). A seguir são detalhadas cada uma destas listas.

A **Lista\_1–Poluidores** é constituída pelos agentes poluidores, quer sejam Equipamento ou Ação (a abertura de um disjuntor, por exemplo) e os fenômenos de qualidade de energia elétrica associados (*Sag*, *Swell*, Harmônicos, etc.). Esta lista é responsável pela descoberta dos possíveis distúrbios que ocorram na rede elétrica caso seja realizado um levantamento prévio dos equipamentos que constituem o sistema elétrico do consumidor.

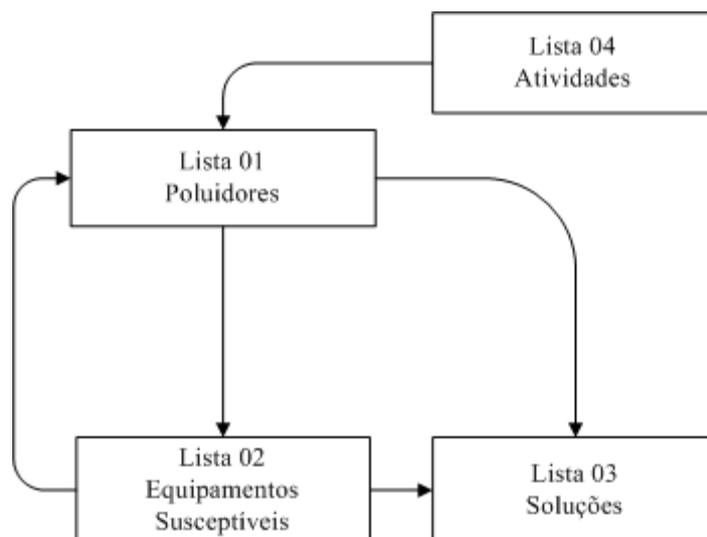
Por meio do levantamento dos fenômenos realizados através da Lista\_1, pode-se por meio da **Lista\_2–Equipamentos Susceptíveis** descobrir quais são os equipamentos sensíveis a estes distúrbios de qualidade de energia elétrica. Além disso, também é possível adquirir a informação de qual problema está ocorrendo no equipamento sensível.

A **Lista\_3–Soluções** mostra-se muito importante, pois é por meio desta lista que se forma o conhecimento das possíveis soluções referentes aos fenômenos de qualidade de energia elétrica ocorridos. Esta lista é aplicada quando se tem o conhecimento prévio dos distúrbios de QEE envolvidos ou após efetuadas medições *in loco*.

A **Lista\_4–Ramo de Atividade** é de extensa complexidade, uma vez que se deve fazer um grande levantamento dos equipamentos utilizados em cada uma das atividades elencadas.

Na Figura 1 é mostrado um fluxograma que relaciona estas quatro listas:

- Lista\_1 – Poluidores → O que provocou? Quais os possíveis distúrbios associados?
- Lista\_2 – Susceptíveis → Há problemas em quais equipamentos?
- Lista\_3 – Soluções → Quais as soluções propostas?
- Lista\_4 – Atividades → Que tipo de consumidor provoca estes problemas? Que tipo de problema o consumidor pode provocar?



**Figura 1** – Fluxograma Geral Para Identificação e Localização Primária da Falta de Qualidade de Energia

## 2.2. Metodologia Multicritério

Na identificação de consumidores ou áreas que são potencialmente poluidoras, existem inúmeros equipamentos que podem causar diversos tipos de problemas (fenômenos) de QEE. Assim, uma metodologia monocritério não é aconselhada, pois analisa somente um determinado agente ou fenômeno a cada vez (ARANHA, 2006). Por outro lado, de acordo com Ensslin *et al.* (2001), os métodos multicritério consideram mais de um aspecto e, portanto, avaliam o problema segundo um conjunto de critérios simultaneamente.

A seguir são descritos procedimentos para classificar e avaliar os vários fenômenos e suas consequências relacionadas com a possibilidade de causarem poluição da QEE.

### - Multivotação através de Pontuação Direta (ou *Direct Scoring Method*)

O método da Pontuação Direta determina que vários especialistas podem atribuir valores numéricos ou linguísticos para o desempenho esperado de uma alternativa medida com múltiplos objetivos. No presente caso aplicado à avaliação de fenômenos de QEE, um grupo de especialistas dá notas na escala de 1 a 5 (ou se faz uma classificação metalinguística), para cada um dos fenômenos e depois é feita uma média a fim de se determinar a importância relacionada a cada fenômeno. Este método confere uma pontuação obtida por uma determinada alternativa com pontos máximos diferentes disponíveis para cada critério. Então, todos os pontos obtidos para todos os critérios para cada alternativa são somados (ou multiplicados) produzindo assim um *rank* de alternativas. Este método é muito utilizado devido a sua facilidade e simplicidade. Um exemplo é mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Pontuação Direta através de Especialistas (Importância do Fenômeno)

	<b>Sag</b>	<b>Swell</b>	<b>Desequilíbrio de tensão</b>	<b>Distorção total de harmônica de tensão (DTHT)</b>
<b>Especialista 1</b>	4	4	2	4
<b>Especialista 2</b>	5	2	3	3
<b>Especialista 3</b>	5	2	2	4
<b>Especialista 4</b>	4	3	-	-
<b>Especialista 5</b>	5	3	2	4
<b>Total</b>	23	14	9	15
<b>Média</b>	4,60	2,80	2,25	3,75
<b>Média Arredondada</b>	5	3	2	4

### - Classificação Multicritério: Análise a Posteriori e Análise a Priori

A Análise a Priori, consiste em fazer uma avaliação prévia de uma planta industrial ou comercial, por meio de um levantamento dos equipamentos existentes e os possíveis fenômenos associados a cada uma dessas **Cargas Potencialmente Poluidoras (C2P)**. Para tanto, são analisados (COELHO *et al.*, 2010):

1. A importância de cada fenômeno (5 níveis conforme definido no item anterior);
2. A quantidade e a severidade de cada um dos equipamentos (três níveis, sendo que a quantidade de equipamentos iguais multiplica a severidade);
3. A frequência com que aquele equipamento gera o fenômeno, também com três níveis.

Na Análise *a Posteriori*, inicialmente são realizadas medições *in loco* na saída da planta industrial ou comercial, ou são feitas medições nos ramais do alimentador ou na própria subestação para a verificação de perturbações de tensão associadas àquela região. Em seguida, ou seja, *a posteriori*, são classificados os eventos perturbadores da QEE através da metodologia *C2P*, conforme detalhado a seguir.

### 3. Análise *a Posteriori*

A Análise *a Posteriori* leva em conta as medições realizadas na unidade consumidora mediante reclamação junto à concessionária ou devido às campanhas de medições realizadas. Após a coleta dos dados oriundos das medições os mesmos serão avaliados através de um sistema de multivotação para a classificação de Consumidores Potencialmente Poluidores – *C2P*.

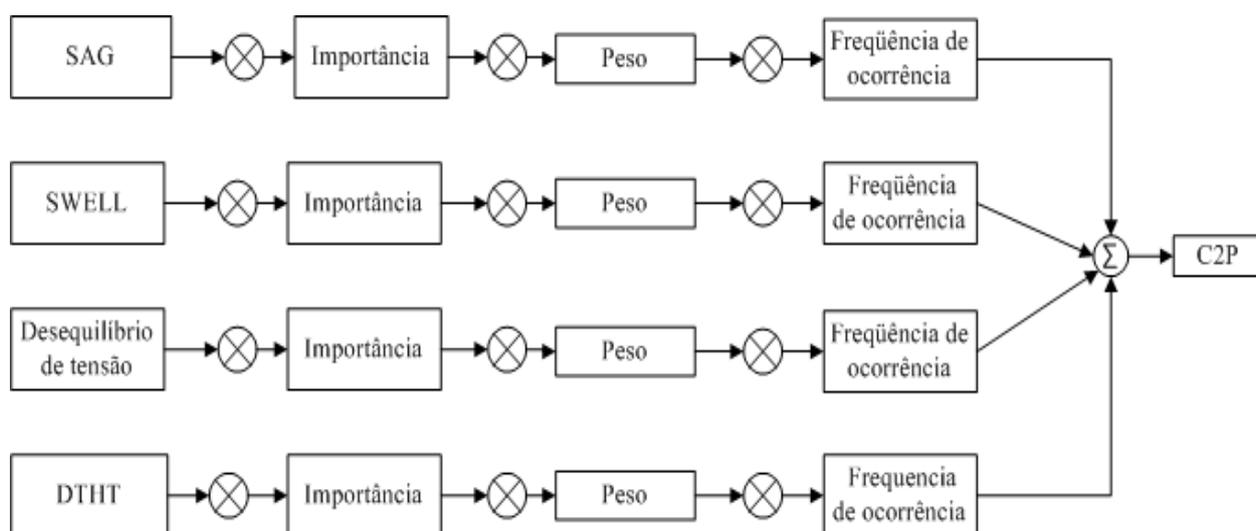
Para definir o grau de influência de cada fenômeno medido, esse sistema levará consideração os seguintes parâmetros:

1. A Importância do fenômeno (*I*);
2. A sua Frequência de ocorrência (*F*);
3. O seu Peso (*P*), hierarquizado através da Severidade de cada evento.

A Figura 2 apresenta a hierarquia de fluxo para o cálculo do índice *C2P*. Cada fenômeno detectado pode ser ponderado pelos três fatores mencionados acima, e a obtenção do índice absoluto será dada pelo somatório dessas ponderações como indicado em (1).

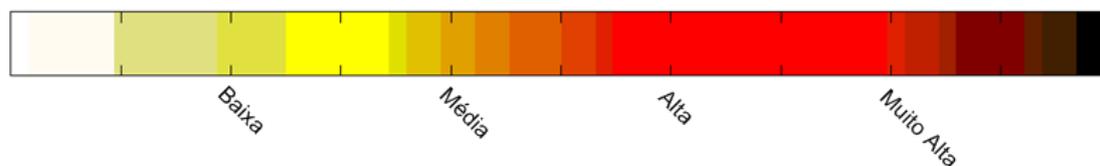
$$C2P = \sum_{i=1}^4 \sum_{P=1}^4 (IPF)_i \quad (1)$$

onde o índice *i* corresponde a um fenômeno (ou problema) de QEE conforme os seguintes índices: 1 – Sag, 2 – Swell, 3 – Desequilíbrio de Tensão e 4 – Harmônicas (DTHT) e o índice *P* correspondem aos pesos de 1 a 4.



**Figura 2** – Hierarquia para cálculo dos Clientes Potencialmente Poluidores

A classificação do índice *C2P* será dada através de um indicador em uma escala de cores gradual dividida em quatro níveis de poluição: baixa, média, alta e muito alta. Esse tipo de classificação se mostra simples e intuitiva (Figura 3).



**Figura 3** – Classificação por cores do índice *C2P*

#### - Classificação quanto à Importância do Fenômeno

Cada fenômeno detectado na medição terá um peso pré-definido de acordo com sua relevância à qualidade de energia elétrica. Os graus de importância atribuídos a cada fenômeno são atribuídos através de entrevistas estruturadas com especialistas no assunto, que no caso são denominados de engenheiros de conhecimento (conforme Tabela 1).

#### - Classificação quanto à Frequência de Ocorrência

Será contabilizada a Frequência de ocorrências (*F*) que cada fenômeno teve durante as medições de QEE ocorridas durante um período fixo de 168 horas consecutivas (sete dias). Neste estudo foi utilizado um período de integralização de 10 minutos cada, que totalizam 1008 leituras a cada 168 horas de medição. Para os fenômenos de *Sag* e *Swell* analisados, o parâmetro *F* pode ser dado pelo número de vezes que estes fenômenos ocorreram. Já para os fenômenos de desequilíbrio de tensão e distorção harmônica, este parâmetro pode ser fornecido pelo número de vezes que ultrapassam os limites específicos de cada um. Lembrar também que, como estes limites ainda não são de consenso quando aplicados em Sistemas de Distribuição, esta tarefa deverá ser avaliada através de um Sistema Especialista, com várias opiniões balanceadas através de um *Direct Scoring Method*, conforme relatado anteriormente.

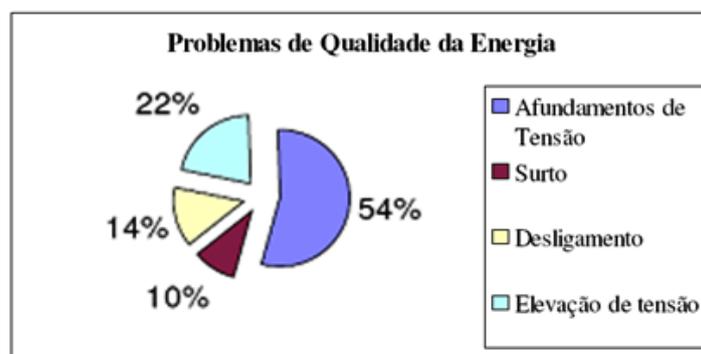
#### - Classificação quanto à Severidade (Peso)

A severidade de cada evento será avaliada distintamente: para os desequilíbrios de tensão e harmônicos ainda não há um consenso sobre os limites específicos de cada um, fazendo-se necessário recorrer a classificações futuras de especialistas; para fenômenos de variação de tensão tais como *Sag* e *Swell*, dispõe-se de normas e entidades que convergem para um padrão comum, como apresentado a seguir.

### **3.1. Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD)**

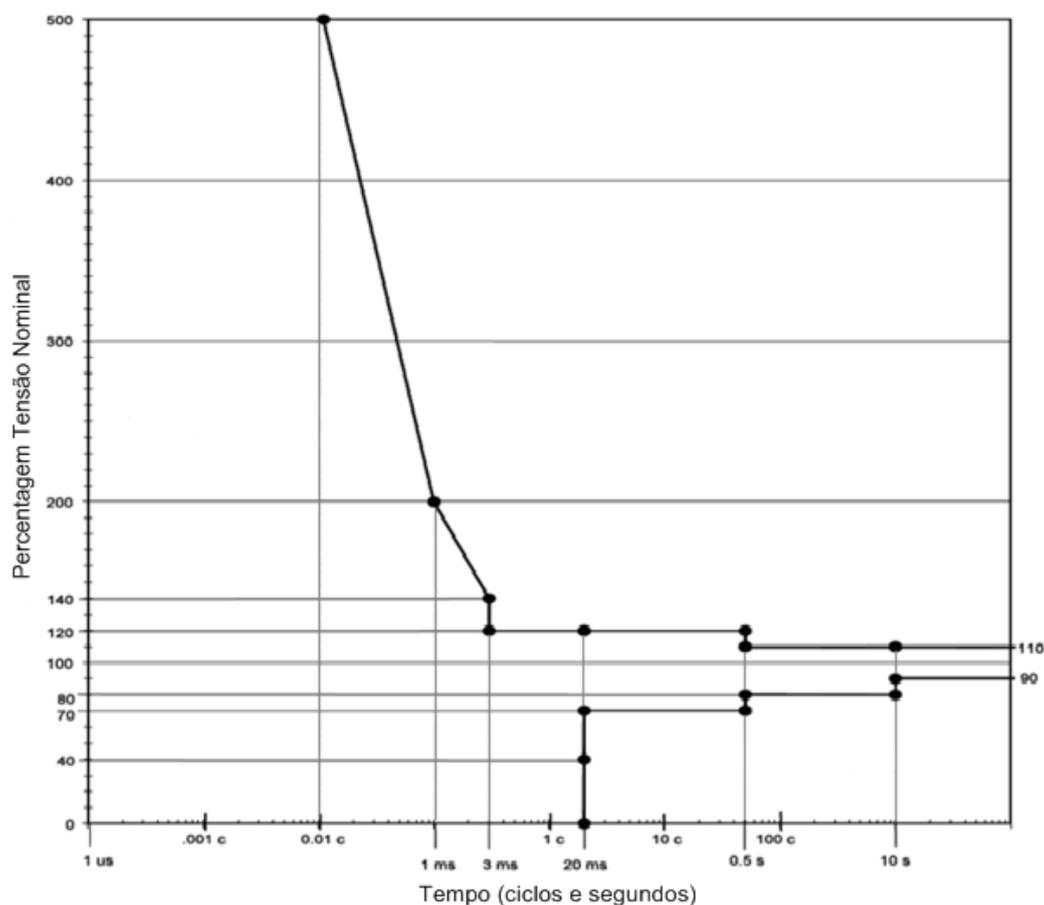
São variações momentâneas (ou temporárias) do valor *rms* da tensão com curta duração. Um *Sag* ou afundamento momentâneo ou temporário de tensão (AMT/ATT) é definido como a redução entre 0,1 e 0,9 p.u. do valor *rms* da tensão ou corrente, durante um período compreendido entre 0,5 ciclos a 60 segundos. Um *Swell* ou elevação momentânea ou temporária de tensão (EMT/ETT) é definido como o aumento entre 1,1 e 1,8 p.u. do valor *rms* da tensão ou corrente, durante um período compreendido entre 0,5 ciclos e 60 segundos (DUGAN *et al.*, 2002; ADALBÓ, 2001).

Maia (2008) a partir de medições realizadas na indústria constatou que a grande maioria dos fenômenos relativos à tensão é devido aos afundamentos de tensão (*Sags*), como mostrado na Figura 4, retirada de IEEE (1998). Estes por sua vez apresentam uma variação típica de tensão compreendida na faixa de 0,8 a 0,9 p.u com duração típica de 11 ciclos, sendo que a principal causa da origem dos *Sags* nas plantas industriais é relativa à partida de motores elétricos, enquanto que nas elevações de tensão (*Swell*), 93% das ocorrências não superam 1,3 p.u e apresentam duração típica de 1 ciclo.



**Figura 4** – Ocorrência dos Fenômenos de tensão (IEEE, 1998)

A proposta deste trabalho para classificação de *Sags* consiste em utilizar os limites de amplitude e duração da curva ITIC (*Information Technology Industry Council*), versão de 2000 (ITIC, 2010). Apesar desta curva de suportabilidade ter sido elaborada para computadores, ela vem sendo utilizada também para outros tipos de equipamentos. Alguns exemplos podem ser observados em ensaios realizados por Teixeira *et al.* (2005). A curva mencionada é apresentada na Figura 5.



**Figura 5** – Curva ITIC - revisão de 2000 (ITIC, 2010)

Baseado nos envoltórios da curva ITIC, adotou-se a seguinte classificação para os VTCDs (Tabela 2):

**Tabela 2 – Classificação para os VTCDs**

<b>Classificação Sag</b>			
Nível	Duração	Nível	Amplitude da tensão[pu]
3	≥ 10 seg.	4	0,0 – 0,1
2	0,5 seg. – 10 seg.	3	0,1 – 0,7
1	20 ms – 0,5 seg.	2	0,7 – 0,8
0	1,0 μs – 20ms	1	0,8 – 0,9
<b>Classificação Swell</b>			
Nível	Duração	Nível	Amplitude [pu]
3	≥ 0,5 seg.	4	≥ 2,00
2	20 ms – 0,5 seg.	3	1,40 – 2,00
1	3,0ms – 20 ms	2	1,20 – 1,40
0	1,0 ms – 3,0ms	1	1,10 – 1,20

A Severidade do fenômeno será dada pelo produto da sua Duração versus Amplitude:  $S=D.A$ .

Lembrando que a leitura da tabela é feita por coluna e de forma matricial, obtém-se a classificação dos pesos de acordo com os níveis de severidade individual de cada evento. Para isto, propõem-se a aplicação de variáveis metalinguísticas. A utilização da estrutura semântica para a classificação metalinguística do sistema especialista *C2P*, proporciona um melhor entendimento do usuário frente aos fenômenos sendo analisados. Por outro lado, também a evolução da tecnologia e a atualização das normas e resoluções podem ser acompanhadas pelo sistema proposto, atualizando e incorporando novos tipos e características de consumidores, colocando novos julgamentos de importância e de severidade, ou limites regulatórios, por exemplo. Na Tabela 3 tem-se uma classificação para os intervalos de Severidade para obtenção dos respectivos Pesos.

**Tabela 3 – Classificação Metalinguística para o Peso/Severidade dos Fenômenos**

Peso	Severidade	Classificação
3	8 – 12	Muito poluidor
2	4 – 6	Médio poluidor
1	3	Pouco poluidor
0	0 – 2	Não poluidor

Para os fenômenos de VTCD analisados, o parâmetro  $F$  (Frequência de Ocorrência) pode ser dado pelo número de vezes que estes fenômenos ocorreram, conforme Tabela 4.

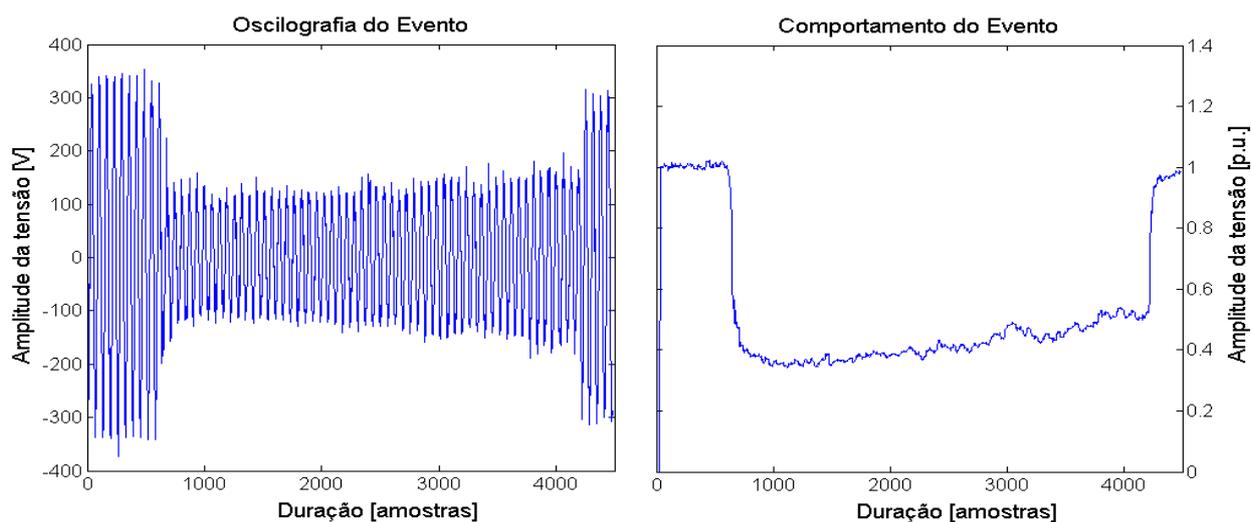
**Tabela 4 – Classificação Metalinguística para a Frequência de Ocorrência**

Frequência Classificada	Critério	Número de Ocorrências por Semana	Classificação
1	Ocorrência Rara: 1 ou 2 por semana	1 a 2	Pouco Frequente
2	Ocorrência Ocasional: dia sim-dia não	3 a 5	Moderada
3	Ocorrência Frequente: todo dia ou quase todo dia	>5	Alta

#### 4. Aplicação da Análise *a Posteriori* em um Caso Típico

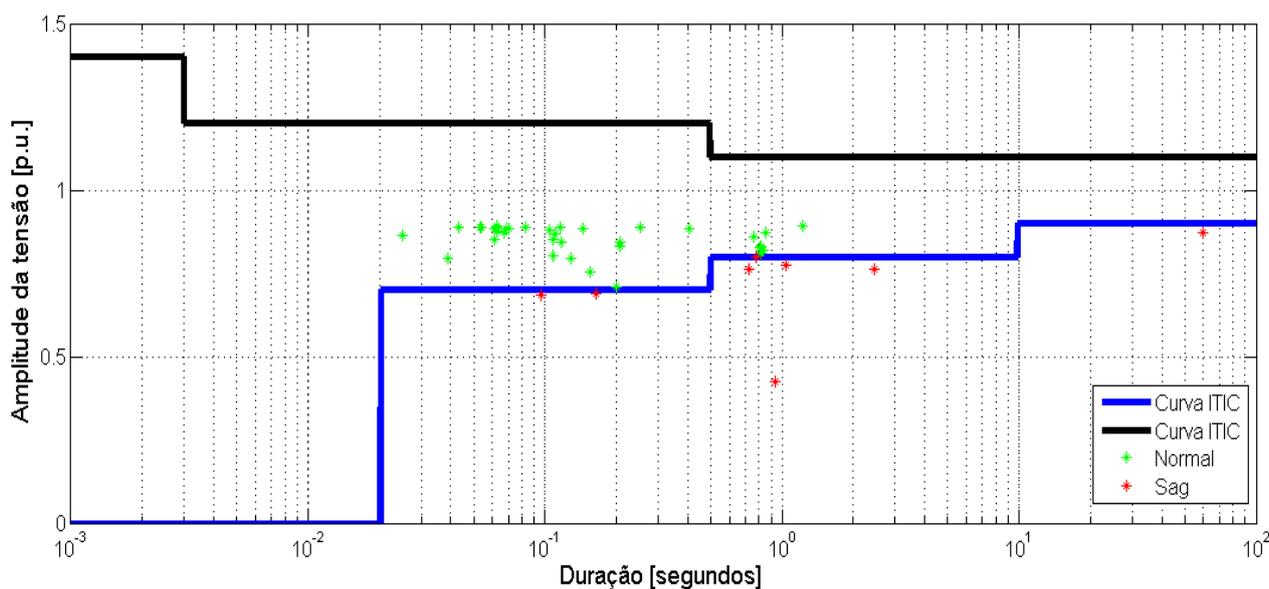
Como ilustração de um exemplo prático será utilizado um conjunto de dados de medições de um consumidor industrial do sul do Brasil com as seguintes características: grande quantidade de resistores de aquecimento, diversos inversores e conversores, fabricação de plástico, injeção, fusão, manufatura e reciclagem de sacolas plásticas.

Tem-se um total de 48 eventos num período de 21 dias, sendo na sua totalidade eventos de afundamento de tensão (*Sag*). Na Figura 6 tem-se um exemplo de oscilografia de um afundamento de tensão na Fase C de um dos eventos e o mesmo evento calculado no seu valor *rms* em p.u..



**Figura 6** – Oscilografia de um dos eventos e sua respectiva duração

De posse da amplitude e duração de cada evento, e utilizando-se da curva ITIC adaptada pelos especialistas, pode-se plotar cada evento para verificar se o evento está dentro ou fora dos limites estipulados, como mostra a Figura 7. Verifica-se pela figura que dentre os 48 eventos registrados referentes às fases A, B e C, apenas 8 eventos foram classificados como *Sags* severos.



**Figura 7** – Curva ITIC com a classificação visual de severidade (todas as fases)

#### 4.1. Classificação dos Eventos e C2P

A partir das informações dos eventos correspondentes à segunda semana de medição e da classificação das Tabelas 2 e 3, chega-se à seguinte distribuição dos eventos ocorridos conforme a classificação metalinguística:

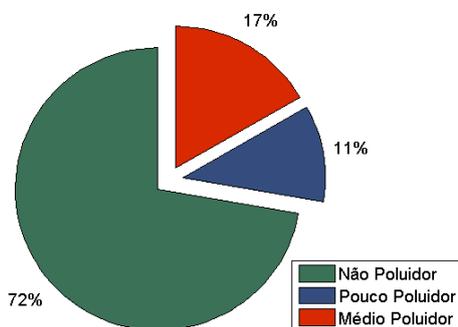


Figura 8 – Distribuição dos Eventos

Com os dados apresentados acima, calculam-se o Peso (ou seja, a Severidade do evento) e a Frequência de cada ocorrência registrada, aplicando-se (1) e obtendo-se os valores por nível e total do índice C2P, conforme Tabela 5.

**Tabela 5 – Índice C2P por nível e Valor Total**

Importância do Fenômeno	Peso	Frequência de ocorrência do evento	C2P
5	3	-	0
5	2	2	20
5	1	1	5
5	0	3	0
		<b>Total:</b>	25

Para classificar o consumidor a partir da escala de cores da Figura 3 em sua segunda semana de medição, foi utilizado o índice C2P relativo, conforme indicado em (2).

$$C2P_{relat} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P (IPF)_i}{45} \times 100 \tag{2}$$

onde o denominador 45 expressa o produto do valor máximo possível dos três fatores constituintes do índice para o caso de avaliação exclusiva de Sags, isto é;  $I=5$ ,  $P=3$  e  $F=3$ . Sendo assim, o nível de poluição para o consumidor em questão é de 55,56%, a Figura 9 apresenta a classificação do índice segundo a escala métrica de cores da Figura 3.

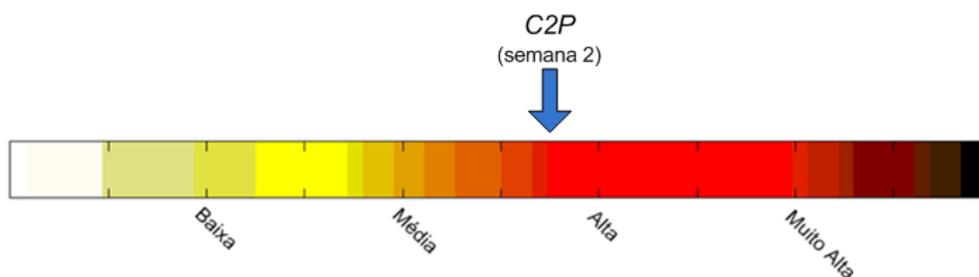


Figura 9 – Classificação índice C2P do Consumidor para segunda semana.

## 5. Conclusões

O Sistema Especialista Multicritério proposto sob a ótica dos vários fenômenos de QEE, aliando as características dos consumidores (seus equipamentos e ações possivelmente poluidoras, quantidade de cada tipo de equipamento) é de fácil uso e de fácil compreensão. Possibilita sua aplicação para Análises *a Priori* de **Cargas Potencialmente Poluidores**, isto é, antes da visita técnica propriamente dita e também é aplicada após as medições efetuadas, para classificação *a Posteriori* de **Consumidores Potencialmente Poluidores**.

De posse de um Banco de Medições consistentes, onde estejam disponíveis informações de analisadores de QEE de vários consumidores, torna-se possível implantar/testar/analisar os vários atributos e seu peso na tomada de decisão para ranquear o binômio Consumidor x Potencialidade da Poluição da QEE.

Apesar da metodologia proposta ainda estar em fase de depuração e validação, os resultados apresentados neste trabalho já permitem antever bons resultados em aplicações mais amplas do que estas analisadas.

Através do índice *C2P*, podem ser classificados sobre uma mesma referência vários consumidores em uma determinada região ou mesmo vários tipos de perturbações em um único consumidor. Deste modo, ações preventivas e/ou corretivas podem ser aplicadas consultando-se novamente a **Lista\_3 – Soluções** do Sistema Especialista, permitindo à concessionária decidir qual (ou quais) possíveis soluções técnicas irá adotar para mitigar os distúrbios detectados.

A solução proposta pela metodologia pode ser avaliada por outros especialistas da concessionária e validada por um maior conjunto maior de medições em campo, de modo que se possam incorporar medições de outros eventos e, desta forma, refinar-se a solução global proposta para uma maior variedade de distúrbios na qualidade de energia elétrica do consumidor.

## 6. Referências bibliográficas

ALDABÓ, R. Qualidade na Energia Elétrica, São Paulo. Artliber Editora, 2001.

ANEEL. PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica, 2009.

ARANHA NETO, E. A. C. Alocação de Chaves Automatizadas em Redes de Distribuição Utilizando Múltiplos Critérios. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

BELTON, V.; STEWART, T. J. Multiple Criteria Decision Analysis, An Integrated Approach. 2a. Ed, 2003, by Kluwer Academic Publishers.

COELHO, J.; BETIOL, A.; BRANCHER, D. L.; MORETTI, R. Controle estatístico de qualidade de energia com diagnósticos através de alarmes e pré-alarmes. SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Recife, 2009.

COELHO, J.; ARANHA NETO, E. A. C.; BETIOL, A. L.; PEREIRA, J. C.; THOMAE, S.; COELHO, G. M.; ZIMATH, S.; BRAZ, R.; HOMMA, R. Z. Sistema especialista para identificação e mitigação de perturbações da qualidade da energia elétrica, CIDEL – Congresso Internacional de Distribución de Energia Elétrica, Buenos Aires, 2010.

- CIGRE – BRASIL, Grupo de Trabalho C4-4, Impactos Econômicos Associados à Perda de Qualidade da Energia Elétrica, Acessado em 17/12/2007, disponível em <http://cigre.dee.ufcg.edu.br/pmwiki/pmwiki.php>.
- DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. Electrical power system quality. 2ª Ed. [S.I.]: McGraw-Hill, 2002.
- ENSSLIN, L.; MONTIBELLER-NETO, G.; NORONHA, S. M. Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. 1a Edição. Florianópolis: Editora Insular. 2001.
- IEEE 519. IEEE standard 519 – IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electric power systems. 1992.
- IEEE 1159. IEEE standard 1159 – IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. 1995.
- IEEE. IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment, May 1998.
- ITIC. ITI (CBEMA) Curve – Revisão de 2000. Acesso em 01/02/2010, disponível em: <http://www.itic.org>.
- MAIA, R. M. Estudo de caso de afundamentos de tensão nos componentes do sistema elétrico industrial dos Moinhos Vera Cruz, Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, PPGEE/UFMG, 2008.
- ONS. Procedimentos de Rede, Submódulo 2.8 - Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes, 2009.
- TEIXEIRA, M.D.; ARAÚJO, R.L.; ARDJOMAND, L.M.; AOKI, A.R.; QUOIRIN, N.S.R.; PENICHE, R.A.; WUNDERLICH, I. Avaliação dos Limites de Parâmetros de Qualidade de Energia Aceitáveis para Prevenir Danos em Eletrodomésticos. SBQEE – Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica. Belém, 2005.