



# VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005  
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 01 7664  
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

## SOLUÇÕES PARA EVITAR PARADA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS DEVIDO A VTCDs

JEFERSON R. SANTOS

JOSUÉ DE CAMARGO

EDUARDO GONÇALVES DE LIMA

CBE

EXPERTISE ENGENHARIA

EXPERTISE ENGENHARIA

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para se reduzir o número de paradas em processos industriais devido a VTCD's, através de aplicação de medidas preventivas e corretivas. As preventivas são adotadas, sobretudo, para reduzir a possibilidade de ocorrência de curtos-circuitos, e as corretivas para dessensibilizar a proteção, sem comprometer a segurança das instalações, equipamentos, processo e planta industrial, ou pela instalação de equipamentos compensadores, como DVR ou UPS. Como exemplo prático, são apresentados os resultados dos trabalhos efetuados na CBE - Companhia Brasileira de Estireno, que reduziu o número de desligamentos de cargas devido a referido fenômeno.

### PALAVRAS-CHAVE

Qualidade da Energia, Afundamento de Tensão, VTCDs, dessensibilização da proteção, paradas de processos industriais.

### 1.0 INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia e da automatização dos processos industriais inseriu, na maioria das plantas, um grande leque de equipamentos sensíveis a VTCD's – Variações de Tensão de Curta Duração (afundamentos ou elevações de tensão), mesmo que por poucos milissegundos, podem interromper processos produtivos inteiros, causando enormes prejuízos. Os efeitos dos afundamentos de tensão sobre equipamentos

eletro-eletrônicos utilizados nas indústrias manifestam-se sob a forma de [1,2]:

- Desprogramação de microprocessadores.
- Desprogramação de CLP's – Controladores Lógicos Programáveis;
- Desatracamento das bobinas de contadores e relés auxiliares, com conseqüentes desligamentos de cargas e equipamentos via lógica do sistema de comando e controle;
- Variação de velocidade dos acionamentos CA e CC (motor e carga mecânica) ou do Torque do motor (CA e CC) que, dependendo do tipo de processo, pode comprometer a qualidade do produto ou provocar a parada de produção;
- Desligamento de acionamentos devido à atuação de dispositivos associados a proteção da planta ou processo que, quando detectam condições de risco, promovem o desligamento imediato da fonte de alimentação;
- Falhas de comutação em pontes controladas, afetando o disparo dos gatilhos dos Tiristores;
- Desligamento de lâmpadas de descarga, como vapor de mercúrio, que levam cerca de alguns minutos para reacenderem;
- Queima de fusíveis e outros componentes, principalmente nos acionamentos CC operando no modo regenerativo.

Qualquer ação efetiva de dessensibilização nestes equipamentos frente a VTCD's, sempre pode trazer benefícios significativos, e, portanto deve ser considerada como alternativa técnica e

econômica para investimentos de melhoria do processo produtivo [3,4], no tocante a paradas de produção.

Como exemplo prático de viabilidade econômica, para ações de dessensibilização, citamos o caso da **Fibra Dupont**, uma Indústria Têxtil de Americana-SP, que, a partir de um trabalho de monitoramento da qualidade da energia elétrica fez um investimento da ordem de US\$ 100.000, para adequação nas suas instalações, tendo como resultado um incremento na receita anual, em virtude da redução do consumo de energia e refugos e de aumento da sua qualidade, da ordem de US\$ 500.000[5].

## 2.0 DESSENSIBILIZAÇÃO

### 2.1 Pré diagnóstico

A busca de ações de dessensibilização se inicia por um Monitoramento e. Conseqüente, Diagnóstico da Qualidade da Energia Elétrica. Em geral, sempre é possível mitigar problemas ligados a Qualidade de Tensão por meio de um Pré-diagnóstico [6], que acaba sendo um estudo, de baixo custo, que analisa esquemas elétricos da indústria e registros dos registros de perturbações, ocorridas na rede da concessionária, que aponta disfunções nas instalações da indústria, que com muito pouco esforço podem ser corrigidas. Em muitos dos casos é necessário monitorar também a Qualidade da Energia Elétrica em pontos da rede interna da indústria.

Segue algumas orientações para elaboração do pré-diagnóstico:

- Se o número de VTCD's no ponto de entrega da energia pela concessionária vem aumentando, deve-se levantar a possibilidade da concessionária melhorar a qualidade da sua energia fornecida;
- Se recentemente foram instalados novos equipamentos ou implementadas novas configurações na instalação ou no processo, deve-se levantar dados suficientes para iniciar os estudos por esses novos equipamentos ou configurações;
- Caso tenham sido registradas queimas de equipamentos, paradas de processos, etc simultaneamente a alguma operação interna conhecida, como partida de motores e chaveamento de capacitores, devem ser levantadas informações que permitam caracterizar os equipamentos e processos

sensíveis (diagrama unifilar, parâmetros de transformadores e impedâncias e carga).

Após o pré-diagnóstico, é possível efetuar uma análise econômica e levantada possíveis pré-soluções, como mostra a Tabela I, que devem ser estudadas antes de se proceder a uma abordagem de dessensibilização.

Tabela I - VTCD's Origens e Soluções

Origens	Formas de Mitigação	Custo
VTCD's pelo lado da Concessionária	Estudar as possibilidades de melhorar a Qualidade do Fornecimento	Muito Elevado
	Implementação de uma solução no cliente	Variável
Ligação de cargas importantes	Alimentadores específicos para cargas perturbadoras e para cargas sensíveis	Elevado
	Alimentação das cargas de potências altas em pontos onde o nível de curto circuito é mais elevado.	Muito Elevado
	Fracionamento das cargas e deslocamento das partidas	Elevado
Partida de motores	Sistema de partida do motor: partida estrela-triângulo, dispositivo de partida eletrônico	Elevado
	Utilização de compensador estático de energia reativa para motores	Muito Elevado
Incidentes na instalação	Ajuste e seletividade das proteções	Baixo
	Proteção contra raios	Elevado
Atuação da proteção na reenergização de motores após uma VTCD	Reajuste das proteções. Gerenciamento do religamento das cargas	Elevado

### 2.2 Diagnóstico

Após a realização do pré-diagnóstico, geralmente, se torna necessário a elaboração de um diagnóstico mais detalhado, visando identificar mais precisamente o comportamento

das instalações. O diagnóstico, nos casos mais complexos, deve ser executado por especialistas, a fim de analisar as consequências das perturbações de forma global na instalação, considerando todos os equipamentos, trabalho este que pode implicar em novas campanhas de medições da Qualidade da Tensão em um número maior de pontos da rede industrial.

A realização do diagnóstico corresponde na execução das seguintes tarefas:

- Identificar e quantificar as perturbações que afetam a instalação;
- Levantar todas as informações possíveis dos equipamentos afetados (máquinas, motores, aparelhagem, relés, CLP's, etc.) e compilá-las sobre suas características na instalação;
- Identificar o encadeamento exato dos fenômenos nos equipamentos sensíveis;
- Determinar as causas das disfunções no conjunto dos equipamentos afetados;
- Estimar os prejuízos econômicos envolvidos;
- Definir as soluções de dessensibilização mais adequadas;
- Fornecer uma estimativa do custo total, para implementação das soluções preconizadas, do tempo para retomo do investimento, e do montante de prejuízos inerentes a sua não implementação.
- Definir as condições de implementação;
- Uma vez implementadas as soluções, definir o processo de acompanhamento da performance da solução implementada, e se possível, eventuais ensaios.

### **2.3 Soluções de dessensibilização para equipamentos industriais**

Em geral, as soluções através de fontes auxiliares, devem ser direcionadas para instalações que suprem os sistemas de informática, eletrônica e comando, muito raramente aos processos industriais.

Para os equipamentos industriais, as soluções gerais aplicadas são as seguintes:

- Os circuitos de alimentação das funções de força e comando devem ser separados;
- O comando sempre deve ser dessensibilizado. Devido à pequena potência utilizada, a proteção por um dispositivo com

fonte de energia auxiliar é pouco onerosa e deve ser instalada de maneira sistemática.

A seguir são listadas algumas soluções específicas para:

#### **2.3.1 Relés e contadores**

- Imunidade total: através do uso de um dispositivo como fonte de energia auxiliar ou capacitores para alimentação das bobinas de corrente contínua. Apenas para os afundamentos e interrupções inferiores a 1s;
- Abertura programada: se os equipamentos a jusante exigem paradas adequadas, pode se necessitar de um dispositivo com fonte de energia auxiliar.

#### **2.3.2 Controlador de velocidade**

##### **2.3.2.1 Para motor de indução**

- Desabilitação da operação do inversor durante a ocorrência do distúrbio e reinicialização do mesmo automaticamente com o retorno da rede;
- Adição de capacitores ou baterias no barramento CC;
- Melhoria no retificador: através do uso de retificadores controlados
- Melhoria no inversor.

##### **2.3.2.2 Para motor de corrente contínua**

- Instalação de capacitores no enrolamento de armadura no lado CC do retificador trifásico;
- Melhoria no sistema de controle;
- Melhoria nos retificadores.

##### **2.3.3 Motor de indução ligado direto na rede**

- Para casos onde se admite reduções de velocidade, afundamentos de tensão inferiores a 30% (ou 50% se o motor é sobre-dimensionado) são tolerados.
- Alterar ajustes dos contadores para que não operem nas condições de imunidade do motor.

##### **2.3.4 Processo com grande valor agregado**

Deve sempre ser garantida a continuidade de serviço, mesmo que seja através de compensadores, como DVR e UPS, podendo até incluir conjunto integrado UPS – Gerador. Entretanto, visando otimizar investimentos, é

interessante identificar efetivamente qual equipamento é sensível e instalar um compensador compatível com sua potência. Em boa parte dos casos podem ser necessários mais de um compensador por instalação.

### 3.0 ESTUDO DE CASO

Neste item é apresentado o projeto de análise e de viabilidade de implantação do sistema de controle e melhoria do uso energético de uma indústria petroquímica de Cubatão-SP, a CBE - Companhia Brasileira de Estireno, visando reduzir as paradas de processo ocasionadas por eventos de VTCD's na rede da Concessionária.

Para a realização do trabalho foram utilizados os dados históricos das ocorrências de variações de tensão e interrupções de energia elétrica na rede supridora, bem como um sistema de gerenciamento de qualidade de energia instalado na cabine de entrada que identifica os distúrbios com detalhes, permitindo efetuar um diagnóstico e um posterior acompanhamento de efetividade das medidas adotadas.

Este trabalho contou com a colaboração dos Professores: Alexandre Rocco, Silvério Penin, Alexandre Shozo e Ysnel Valvano, para quem a CBE presta agradecimentos.

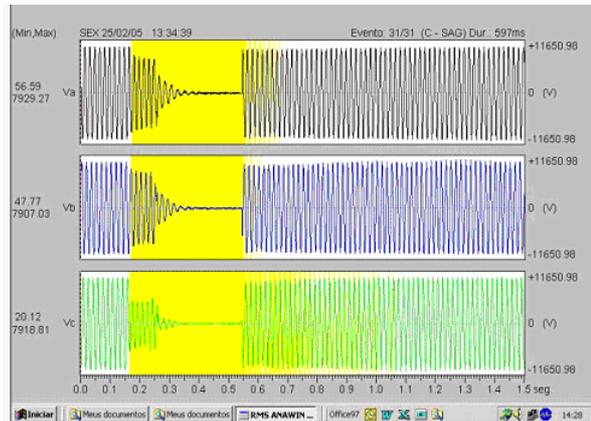
#### 3.1 Histórico das VTCD's

Considerando que o trabalho refere-se a um estudo de caso, onde a intenção fundamental é o de se conhecer as realidades operacionais das máquinas, motores, bombas, compressores e ventiladores, que envolvem o processo de fabricação da matéria prima para o mercado de plásticos, coletou-se dados a partir de observações periódicas, sendo constatada uma média elevada de VTCD's, 22 por ano, ocasionando sérios prejuízos econômicos ao parar a produção em massa durante o ano de 2004.

A primeira implementação foi dessensibilizar o disjuntor de entrada, reajustando para que este fique ligado durante 4 segundos, antes da sua abertura por falta de tensão, conforme indicação do estudo de seletividade aprovado pela Concessionária.

Observou-se que a maioria dos eventos registrados apresenta duração inferior a 0,7 segundo, conforme se pode constatar dentro da empresa analisada.

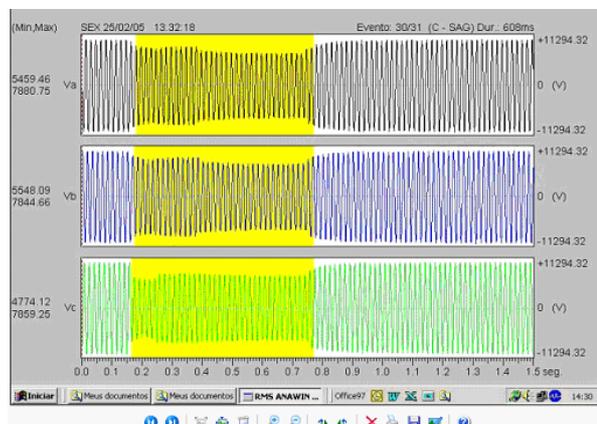
Como ilustração, a Figura 1 mostra a evolução dos níveis de tensão, valores RMS, para um afundamento de tensão trifásico registrado pelo medidor MARH-VP instalado na CBE. Observa-se que o afundamento de tensão atingiu intensidade de zero p.u., e duração da ordem de 600 ms.



Fonte: CBE/2005

Figura 1 – Registro de Afundamento de Tensão na Cabine Primária

A Figura 2 mostra outro afundamento de tensão, também registrado na CBE.



Fonte: CBE /2005

Figura 2 – Registro de Afundamento de Tensão na Cabine Primária

#### 3.2 Descrição básica de cargas e processos da CBE

A CBE possui um parque industrial para a produção de etilbenzeno (produto de uso cativo) e monômero de estireno (produto final), composto basicamente de ventiladores, compressores e bombas centrífugas que transferem os fluidos para os vasos e reatores, além de uma caldeira aquotubular, geradora de vapor superaquecido e

também fornos para superaquecimento de vapor e óleo térmico, utilizado nos refervedores das colunas de processo.

As plantas devem operar em regime ininterrupto e em processo contínuo, considerando paradas programadas à cada dois anos, exceto por interrupções causadas pelo problema de qualidade no suprimento de energia e/ou falhas de manutenção.

### 3.3 Diagnóstico

#### 3.3.1 Comportamento das cargas durante os afundamentos de tensão

Alguns motores, considerados fundamentais no processo, são desligados, sempre que as bobinas dos contadores são desabilitadas por ocorrência de tensão anormal, fato possível não apenas na ocorrência de falha total da energia, mas também na ocorrência de variações de tensão.

Entretanto, existem motores que permanecem em operação devido a sua inércia, por algum tempo após o corte na alimentação, não impondo por consequência em imediata solução de continuidade do processo produtivo da planta industrial da empresa, o que permite inferir que, o desligamento deve ocorrer em função das variáveis do processo, sejam eles pressão, temperatura, vazão ou outra, quando as mesmas atingirem os níveis de segurança.

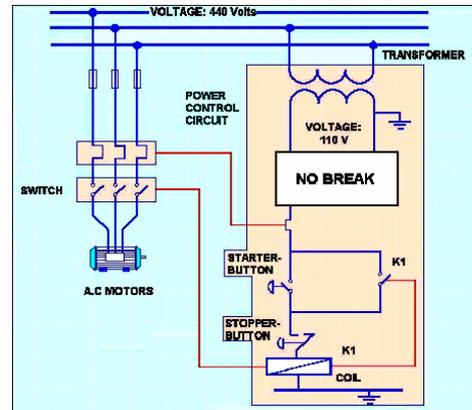
#### 3.3.2. Solução identificada

Trata-se, portanto, de identificar todos os motores fundamentais para o processo e que são desligados, devido ao desarme de seus contadores por ocorrência de variações de tensão.

Uma vez identificados os referidos motores, deverá ser proposta alteração da alimentação das bobinas do circuito de comando que alimenta os contadores, por sistema "NO BREAK", conforme ilustrado na Figura 3, com avaliação da substituição do sistema de segurança, ou seja, ao invés do desligamento do processo ser comandado pelas bobinas dos contadores, o mesmo passaria a serem desligadas por parâmetros resultantes da análise das variáveis do processo, estas sim mandatárias na determinação dos níveis de segurança.

### 3.2 Metodologia aplicada

Na seqüência, para a elaboração de simulações em aplicativo para análise de Transitórios Eletromagnéticos [7], tendo-se como objetivo a



Fonte: CBE/2004

Figura 3 – Exemplo de Utilização do NOBREAK

avaliação do sistema, considerando-se os distúrbios, foi necessária a realização das etapas a seguir:

- Levantamentos dos motores de indução na CBE;
- Levantamento do modelo de impedância equivalente de cada motor de indução;
- Levantamento dos dados de cada motor junto ao fabricante;
- Levantamento dos tempos de aceleração e desaceleração de alguns motores (conforme disponibilidade do equipamento);
- Modelagem dos motores de indução no aplicativo computacional;
- Verificação da consistência do modelo do motor individualmente;
- Levantamento dos carregamentos por transformador alimentador dos CCM's;
- Modelagem do sistema elétrico da CBE;
- Verificação da consistência do modelo do sistema elétrico.

Nas simulações foram analisadas situações com todas as cargas simultaneamente afetadas, permitindo confrontar resultados com os ajustes de proteção.

A metodologia estabelecida foi a de se impor eventos de VTCD's através da simulação de defeitos simétricos e assimétricos com diferentes intensidades e durações, considerando a curva

de sensibilidade utilizada para controle e comando de motores de indução trifásicos, modelados a partir de dados de ensaios de campo realizados nos principais motores da planta industrial da CBE.

Assim sendo, a simulação dos eventos foi privilegiada nos testes de verificações de respostas dinâmicas dos principais motores que compõem o processo, considerando-se, para tanto, medidas de tempos de respostas de desaceleração e influência das características das cargas dos mesmos.

Após as referidas simulações foram efetuadas a proposição da solução a qual poderá ser diferenciada para cada motor, sendo que está poderá implicar em:

- ☑ Identificar todos os atuais comandos e potências envolvidas para os motores fundamentais, que se desejam manterem ligados, na ocorrência de distúrbios;
- ☑ Sugerir alimentação independente para os referidos comandos através de fontes CC e inversores CC/CA (*no-breaks*) ou simplesmente CC onde economicamente for mais viável;
- ☑ Sugerir adequações no sistema que permita o desligamento total ou parcial do processo na hipótese de violação de limites de segurança;

### 3.5 Conclusões e viabilidade do projeto

Pode-se concluir que a ocorrência de variações de curta duração, e dos afundamentos de tensão está relacionada com o nível cerâmico da região do Estado de São Paulo, principalmente no Pólo Petroquímico de Cubatão, onde as linhas aéreas encontram-se instaladas.

Sabe-se que o custo dos problemas de qualidade da energia, em termos de produção perdida e interrupção, varia amplamente, dependendo do tipo de indústria. Entretanto, o custo das medidas de mitigação está freqüentemente dentro dos critérios característicos de investimento para a gestão da CBE.

Para a continuidade do trabalho diretamente a ser realizado na CBE, relacionado à idéia do projeto de instalação de *no-breaks* nos comandos dos motores, a fim de se manter seus respectivos contadores ainda fechados durante o VTCDs, aproveitando-se a inércia e a velocidade dos motores que ainda permanecem operando, seguem as seguintes considerações:

- ☑ Deverão ser detalhadas as restrições e as possibilidades de ajustes dos parâmetros de segurança do processo produtivo da empresa em análise.
- ☑ Deve-se preparar um estudo detalhado dos aspectos de proteção e seletividade, visando seccionar partes do sistema para as faltas e/ou falhas que possam ocorrer.

### 4.0 CONCLUSÕES

A metodologia apresentada para se mitigar problemas de paradas de processos industriais, devido a VTCD's, foi implementada com sucesso na CBE, onde os resultados dos trabalhos apontaram a viabilidade da dessensibilização do disjuntor de entrada e dos contadores de acionamento de motores e relés de proteção de entrada dos motores, assim como a necessidade de alteração dos parâmetros do inversor de freqüência que faz o controle de velocidades para um ventilador de uma caldeira a vapor.

### 5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bollen, Math H. J. "Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions". IEEE Press, 2000.
- [2] Filho, José Maria Carvalho. "Uma Contribuição à Avaliação do Atendimento a Consumidores com Cargas Sensíveis – Proposta de Novos Indicadores". Tese de Doutorado, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Dezembro de 2000.
- [3] Sullivan, M.J., Vardell, T., Johnson, M., "Power interruption costs to industrial and commercial consumers of electricity" IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, Nov/Dec 1997
- [4] Lima, A.; Ferro, F.; Martins, J.; Roncolato, R.; Santos, N. "Custos Da Qualidade De Energia Em Grandes Consumidores Industriais". Anais XII SENDI.
- [5] Motoki, E. M.; Camargo, J.: Qualidade da Energia Elétrica - Visão do Consumidor sobre QEE - Reajustes da Sensibilidade de Equipamentos – Trabalha da Parceria Fibr Dupont/CPFL/Moeller - Seminário ABINEE TEC 2000, São Paulo-SP.
- [6] Dugan, Roger C.; McGranaghan, Mark F.; Beaty, H. Wayne. "Electrical Power Systems Quality". McGraw-Hill, 1996.
- [7] Bollen, M. H. J.; Yalcinkaya, G.; Hazza, G. "The Use of Electromagnetic Transient Programs for Voltage Sags Analysis". IEEE – PES - 8<sup>th</sup> International Conference on Harmonics and Quality of Power, Athens, Greece, October 1998.