



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 01 7584

Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

AFUNDAMENTOS DE TENSÃO NO CONSUMIDOR AAM DO BRASIL ESTUDO DE UM CASO DE SUCESSO

JÚLIO SHIGEAKI OMORI *

COPEL

FRANCIS DE ALENCAR PRADO

COPEL

RESUMO

Entre todos os fenômenos envolvendo qualidade de energia, os afundamentos de tensão tem sido a principal fonte de reclamação dos consumidores industriais da Companhia Paranaense de Energia - COPEL.

Em meados de 2004 um novo consumidor conectado ao sistema de distribuição da COPEL solicitou análise de problemas no fornecimento de energia elétrica cujo diagnóstico apontou um elevado nível de sensibilidade do consumidor com relação a afundamentos de tensão.

Na tentativa de solução, os três entes envolvidos, concessionária, consumidor e fabricante de equipamentos interagiram fazendo com que este caso se tornasse um padrão de referência e conduta para COPEL no atendimento a reclamações de consumidores.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de Energia, Afundamento de Tensão, Sensibilidade de Processos Produtivos.

1.0 INTRODUÇÃO

A cada ano uma série de estudos tratando de diagnósticos e soluções para novos casos envolvendo problemas com Variações de Tensão de Curta Duração - VTCD, principalmente afundamentos de tensão, tem sido realizados pela COPEL com resultados diversos. Este artigo tem como objetivo apresentar um estudo de caso

realizado para atendimento das reclamações de um consumidor conectado ao sistema de distribuição cuja análise apontou uma elevada sensibilidade de seu processo produtivo frente aos afundamentos de tensão, onde cada parada representa uma elevada perda de receita.

Após a realização de algumas reuniões, o consumidor conscientizou-se que o problema não era somente da concessionária. Diante da situação encontrada, foi vislumbrada uma possibilidade praticamente inédita da união de esforços na tentativa de resolver conjuntamente o problema envolvendo afundamentos de tensão.

De imediato, o consumidor colocou a disposição todas as informações relevantes do seu processo e equipamentos, procurou informações de problemas correlatos nas demais unidades do grupo, efetuou o levantamento sobre as paradas de equipamentos, convocou a concessionária e os fabricantes para reuniões e, por último, esteve aberto a sugestões sobre as melhorias possíveis em sua planta.

A COPEL instalou medidor de qualidade para registrar as grandezas elétricas no momento de paradas do consumidor, correlacionou os registros a eventos do sistema, buscando desta forma, subsídios para realização de um estudo de qualidade.

2.0 A EMPRESA

O consumidor em questão é a AAM do Brasil, uma empresa do setor automotivo e pertencente ao

grupo American Axle e Manufacturing, dos Estados Unidos, líder mundial no segmento de sistemas Drive Line, módulos e peças forjadas em aço, sendo composta por 21 unidades espalhadas pelo mundo inteiro.

Surgido em 1994, o grupo está presente hoje nos países Brasil, México, Inglaterra, Escócia, Alemanha, Japão e Estados Unidos. Os componentes usinados pela AAM do Brasil são vendidos no mercado interno para as empresas FORD, RENAULT, GMB, GM, SCANIA, DIVISÃO ALLISON-USA, PEUGEOT e BOSCH, e para outros clientes no mercado externo.



Figura 1 – Unidade da AAM do Brasil

A AAM brasileira está localizada desde 2003, no município de Araucária, região metropolitana de Curitiba, onde ocupa atualmente uma área com 40 mil metros quadrados, sendo 25 mil metros de área construída.

Em apenas cinco anos de operação no Brasil, já obteve um crescimento de 200% na produção de componentes para transmissão, motores e sistemas de Drive Line.

2.1 Sistema elétrico

A AAM do Brasil é atendida em tensão de 13,8 kV através do alimentador Gonvarri proveniente da SE Araucária (ARC). A fábrica dista 3,6 km eletricamente da SE Araucária que possui tensão primária de 69 kV, duas barras de 13,8 kV e uma barra de 34,5 kV. Existem na subestação dois transformadores sendo que o T1, atende uma das barras de 13,8 kV na qual estão conectados os alimentadores Estrada Velha, Fonte Nova, Almeida Torres e Independência. O transformador T2 possui três enrolamentos e atende a outra barra de 13,8 kV dos alimentadores Chapada, Campestre, Óleos Brasil, VanLeer, CSN, Gonvarri e a barra de 34,5 kV dos circuitos Contenda e Mandirituba.

Brasil, Van Leer, CSN e Gonvarri e a barra de 34,5 kV dos circuitos Contenda e Mandirituba.

Cabe observar que o fato da SE ARC possuir dois transformadores de força trabalhando isolados entre si, favorece a qualidade da energia ofertada aos consumidores sensíveis a afundamentos momentâneos de tensão, pois diminui a área de exposição da rede primária (13,8 kV e 34,5 kV) a curtos-circuitos que provocarão afundamentos nas barras de carga da subestação, pois curtos circuitos nos alimentadores de determinada barra pouco afetam consumidores ligados as outras barras.

A figura 2 apresenta o diagrama unifilar simplificado da SE Araucária.

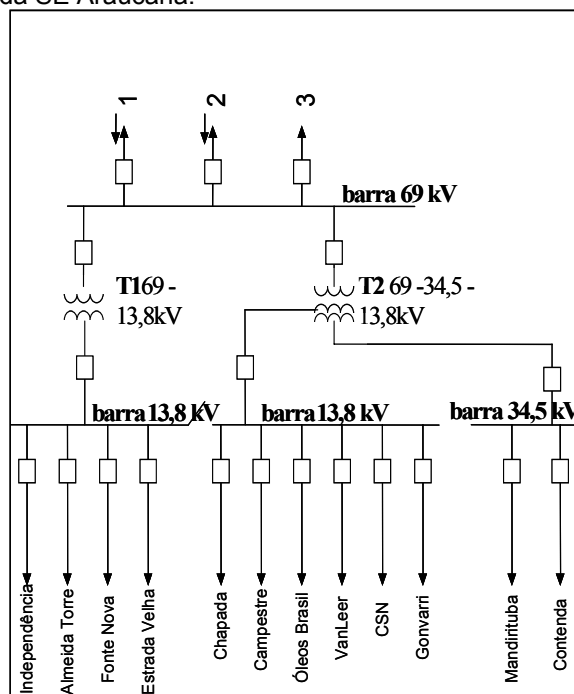


Figura 2 – Diagrama unifilar da SE Araucária

2.2 Descrição do problema

O processo produtivo de manufatura do consumidor utiliza largamente máquinas ferramentas com Comando Numérico Computadorizado – CNC para realizar a usinagem fina dos materiais metálicos. Dispositivos eletromecânicos e eletroeletrônicos tais como Controlador Lógico Programável, Inversor de Frequência, Servoacionamento, Servomotor, Eletroválvula, Motor Elétrico, Encoder, Régua Óptica, Interface Homem Máquina, PC Industrial, entre outros dispositivos, são alimentados por uma única fonte de energia. Os elementos controladores e atuadores são os que

consomem menos energia, e ao mesmo tempo são os mais susceptíveis a afundamentos de tensão, principalmente os controladores que concentram as tomadas de decisão no funcionamento das máquinas. Na ocorrência de um afundamento de tensão, existem diversas possibilidades de mudança na dinâmica da máquina, independentemente do elemento em questão o produto final passa a ser inutilizado. O ponto crítico no processo da AAM é justamente a retomada de produção, pois não basta a reprogramação das máquinas para reinício. Devido ao processo de controle de qualidade e garantias de certificação do produto final, determinados elementos devem ser levados para o laboratório e ensaiados para que a produção possa ser retomada. Dependendo do estágio de parada da máquina, este procedimento pode durar até duas horas. Um agravante adicional é a grande diversidade de máquinas no parque produtivo do consumidor. São 22 marcas diferentes de máquinas ferramentas automáticas, envolvendo fabricantes diversos, japoneses, europeus e norte americanos.

Através da análise realizada, verificou-se que afundamentos de tensão mais intensos poderiam levar até 80% de paradas de máquinas por um período de até duas horas. O consumidor apresentou os seguintes cálculos de custos, para este caso (tabela 1).

Tabela 1 – Custos por Parada

Custo por Parada	R\$ 70.000,00
Médias de Paradas por Ano	48
Custo por Parada Anual	R\$ 3.360.000,00

Diante deste quadro crítico foi solicitado à COPEL a análise da qualidade de energia fornecida.

Na primeira visita realizada nas instalações do consumidor foi verificado um fato inusitado. Um relé de subtensão, alimentado em corrente alternada, estava instalado na subestação principal no consumidor e dando “trip” no disjuntor geral da instalação. Desta forma, afundamentos de tensão que poderiam não sensibilizar as máquinas acabavam gerando a atuação do relé que interrompia o fornecimento geral de energia à fábrica. A primeira recomendação da COPEL e implementada pela AAM foi a retirada de operação deste relé de subtensão.

3.0 COLETA DE DADOS

Com o objetivo de realizar a análise das ocorrências a Copel instalou medidor de qualidade de energia na subestação geral da AAM do Brasil.

Equipamento de medição

O equipamento utilizado foi o analisador de grandezas elétricas Quantum Q-1000 da Schlumberger. Este é um equipamento eletrônico microprocessado com quatro canais de tensão e de corrente. Sua taxa de aquisição é de 64 amostras por ciclo, o que possibilita realizar os cálculos necessários ao levantamento dos parâmetros de VTCD.

Na parametrização do medidor, programou-se o medidor para registrar os eventos com duração de 50 ms até 1 min e amplitude superiores a 10% e inferiores a 90% da tensão nominal.

Registro de dados de ocorrências

Todas as ocorrências dentro da AAM no período de análise foram anotadas em uma tabela apropriada, contendo as seguintes informações: data e hora dos eventos, equipamentos sensibilizados, eventuais manobras internas e partida de motores internos à planta. Desta forma, foi possível determinar as características dos eventos que afetavam os equipamentos do consumidor bem como determinar a sensibilidade individual de cada equipamento. Os dados foram minuciosamente anotados pela área de engenharia de produção da AAM o que possibilitou a realização de uma análise mais detalhada da sensibilidade dos equipamentos e caracterização das ocorrências.

Sistema de medição da AAM

Além do equipamento instalado pela concessionária e do registro de ocorrências na linha de produção, outra fonte importante de dados referente a afundamentos de tensão foi o próprio sistema de medição interno do consumidor. A AAM possui medição de qualidade de energia na subestação geral, realizada pelo equipamento Power Logic da SquareD, sendo este equipamento específico para medições de qualidade de energia. Nas três subestações unitárias do consumidor, o relé de proteção digital (Sepam – Schneider), que além da função normal de proteção geral também realiza medições de qualidade de energia. Todos os dados são integrados a rede corporativa, sendo registrados e salvos nos servidores e bancos de dados da AAM.

4.0 ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS

Mediante a coleta de dados realizada num período superior a três meses, foi possível efetuar a análise das ocorrências verificadas.

Nota-se que o limite inferior programado é, maior que o limite de caracterização do afundamento, isto é, de um ciclo ou aproximadamente 16,7 ms. Este fato justifica-se pela pequena probabilidade das ocorrências entre 16,7 e 50 ms afetarem o processo produtivo e pela redução da necessidade de armazenamento de dados na memória de massa do equipamento.

Ocorrências no sistema

Foi realizada a correlação dos horários dos eventos registrados no medidor Quantum Q-1000 com os ocorridos no sistema elétrico. A estratégia utilizada para correlacionar os eventos, objetivando identificar as causas das ocorrências registradas pelo medidor instalado no cliente, foi a seguinte:

a) Busca de eventos ocorridos no mesmo horário na distribuição, com ênfase para os eventos provenientes da SE Araucária. Para esta pesquisa foi utilizado o software SOD (Sistema de Operação da Distribuição), desenvolvido pela engenharia de distribuição da COPEL.

b) Busca de eventos ocorridos no mesmo horário no sistema de transmissão. A pesquisa foi realizada mediante consulta individual de evento ao Centro de Operação do Sistema da COPEL - C.O.S.

Na tabela 2, nota-se que para este caso em específico, a preponderância dos afundamentos mensurados na AAM foram causados por eventos no sistema de distribuição (65%).

Tabela 2 – Ocorrências no Sistema

Eventos Mensurados	Quant.
Ocasionados pelo Sistema de Distribuição	41
Ocasionados pelo Sistema de Transmissão	14
Com causa não identificada	8
Total	63

As ocorrências advindas do sistema de distribuição, que causaram afundamentos medidos na AAM, estão correlacionadas basicamente a atuações dos religadores de outros circuitos atendidos pela SE Araucária, mais especificamente do transformador T2.

A figura 3 apresenta a estratificação dos eventos de distribuição que causaram afundamentos na AAM por circuito. Cabe constatar que nem todo afundamento registrado pelo medidor ocasionou parada de máquinas.

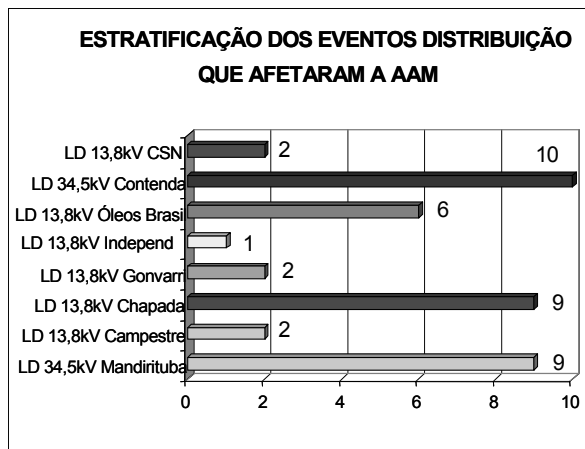


Figura 3 – Eventos no Sistema de Distribuição

Sensibilidade do consumidor

Pelos registros efetuados pela AAM, nota-se que a fábrica possui máquinas com sensibilidade diferentes. Seguindo o critério global de quantidade de modelos de máquinas, nota-se pela tabela 3 que as máquinas Promecor M3, Torn. Promec, Hellen MC-16, Hellen MCA são as mais críticas. As que apresentam menor sensibilidade a afundamentos são os equipamentos Mazak SQT -200, Test. Estanq., Torn. Okuma e Hellen BZ respectivamente.

Tabela 3 – Ranking de Parada de Máquinas

Máquinas	Quant. paradas
Promecor M3	18
Torn. Promec.	18
Hellen MC-16	18
Hellen MCA	17
Grob Eixo 1&2	15
Promecor M2	14
Brother	14
Heller MCP-250	14
Promecor M1	13
Hellen BEA	12
Mazak FH 680	12
Mori Seiki	12
TM Bevo	11
Georg Fisher	8
Heller FST	8
Centro Okuma	7
Womat V2	7
Mazak Integrex	4
Hellen BZ	3
Torn. Okuma	2
Test. Estanq.	2
Mazak SQT - 200	1

Dos 49 afundamentos registrados, 17 caíram dentro da curva CBEMA e destes 17 eventos 8 ocasionaram paradas de máquinas. A figura 4 abaixo ilustra esta informação. Enfatiza-se novamente que o universo de eventos que caem fora da curva CBEMA foi reduzido quando da parametrização para registro de apenas eventos superiores a 50 ms.

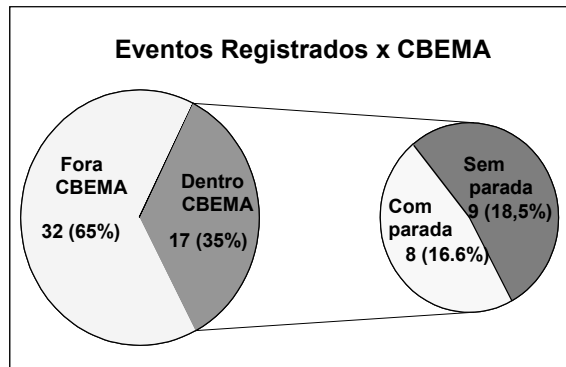


Figura 4– Eventos Registrados x Curva CBEMA

Nos 08 eventos que caíram dentro da curva CBEMA, 18 dos 22 tipos diferentes de máquinas apresentaram funcionamento inadequado durante o evento. A Figura 5 apresenta a quantidade de vezes que cada tipo de máquina parou nestes 08 afundamentos. Considerando este critério, as máquinas mais críticas do processo são: Grob Eixo 1&2, Torn. Promec, Promecor M3 e Hellen MC-16.

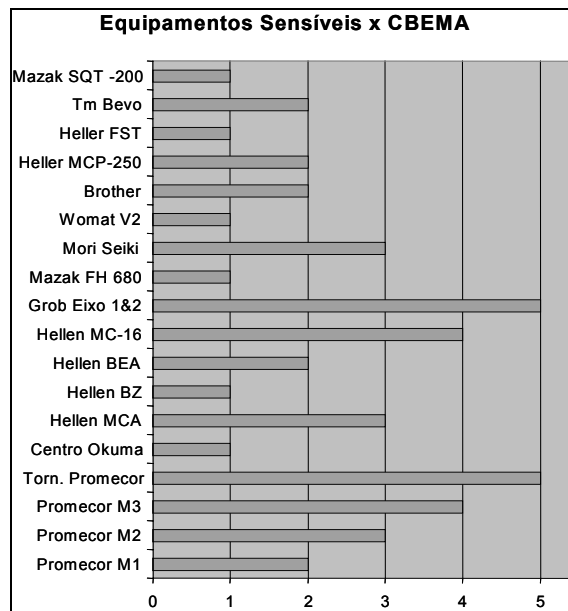


Figura 5 – Equipamentos Sensíveis x CBEMA

5.0 AÇÕES CORRETIVAS

Processos mecânicos que utilizam máquinas ferramentas com CNC, geralmente trabalham com variáveis mecânicas de processo (posição, velocidade, aceleração) que apresentam uma elevada dinâmica, exigindo grande desempenho dos sistemas de controle. Desta forma, quando se identifica que uma planta industrial é sensível a afundamentos, a concessionária deve enfatizar seus trabalhos na busca de minimizar os eventos no sistema. Em contra partida, a unidade consumidora deve entrar em contato com os fabricantes buscando formas de reduzir a sensibilidade de suas máquinas frente aos afundamentos de tensão ou, sendo favorável economicamente, buscando alternativas para imunidade dos mesmos.

As soluções recomendadas tanto para o cliente, fabricante e concessionária dependem inicialmente do levantamento da sensibilidade dos equipamentos do cliente para estes afundamentos registrados.

Cabe ainda lembrar que o sistema elétrico do Brasil é interligado e aéreo, trazendo como benefícios a baixa probabilidade de interrupção, facilidade de manutenção, etc. e malefícios como afundamentos de tensão e susceptibilidade a condições atmosféricas. Sendo assim, deve ficar claro para os consumidores que curtos-circuitos causados por descargas atmosféricas, vandalismo e falhas em equipamentos, inerentes a qualquer sistema elétrico aéreo e interligado, sempre poderão ocasionar os afundamentos de tensão em outros pontos do sistema.

Concessionária

As soluções que podem ser tomadas pelas concessionárias são, na maioria das vezes, medidas preventivas, ou seja, combatem as causas e as origens dos distúrbios.

Visando minimizar os efeitos ocasionados pelos afundamentos momentâneos de tensão na AAM, a COPEL elaborou um plano de manutenção especial nos alimentadores que estatisticamente foram apontados pelo estudo como as principais fontes geradoras dos afundamentos de tensão. A lista de ações realizadas incluiu: substituição de isoladores e pára raios, instalação de novas cruzetas e chaves seccionadoras unipolares, intercalação de postes em circuitos, retirada de objetos estranhos na rede, melhoria de malhas de aterramento, inspeção por termografia entre outros. A distância utilizada para

intensificação da manutenção foi apontada pela simulação de curtos-circuitos na rede de distribuição.

Também foi previsto nos estudos de planejamento de curto prazo, a divisão de cargas entre os circuitos para diminuir a ramificação do atual alimentador da AAM do Brasil, bem como a migração do consumidor para uma barra menos susceptível a afundamentos de tensão, numa futura subestação de carga da COPEL que está sendo construída na região. Estudos complementares indicaram que a migração do consumidor para a nova subestação reduzirá sua área de vulnerabilidade a afundamentos em aproximadamente 70%.

Consumidor

As soluções que podem ser tomadas pelos consumidores destinam-se às medidas corretivas, ou seja, a combater os efeitos do afundamento de tensão nos equipamentos e a atuar junto aos fabricantes das máquinas objetivando a minimização da sensibilidade destes frente aos afundamentos de tensão.

Tendo como referência as informações obtidas no relatório e nas informações prestadas pela COPEL, a AAM tomou as seguintes ações:

- Realizou reuniões com os fabricantes dos equipamentos nacionais e internacionais explicando os problemas encontrados e solicitando ações para melhoria da sensibilidade dos equipamentos já instalados em sua planta.
- Fez constar em especificações técnicas para aquisição de novas máquinas, a obrigatoriedade dos equipamentos atenderem, no mínimo, a suportabilidade a variações momentâneas de tensão de curta duração indicadas nas curvas CBEMA e ITIC. Inclusive com diferencial de aquisição para fabricantes cujos equipamentos apresentassem sensibilidade melhor que a curva.
- Verificou suas instalações elétricas, analisando possíveis quedas de tensão e compatibilidade da tensão nominal dos equipamentos.

Até o momento do presente estudo, a AAM estava em processo de contratação de consultoria para realizar diagnóstico, instalação de fontes ininterruptas de energia e redução da sensibilidade de equipamentos críticos.

6.0 CONCLUSÕES

A legislação brasileira e da maioria dos outros países, ainda não possuem normas estabelecendo limites, quantidade e sensibilidade mínima para os equipamentos frente aos afundamentos de tensão. Atualmente recomenda-se a utilização da curva CBEMA para identificar o grau de sensibilidade dos equipamentos.

Quanto aos critérios de qualidade de energia fiscalizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, verificou-se que, durante o período de monitoramento, o perfil de tensão em regime permanente das barras de 13,8 kV na Subestação Araucária apresentou resultado considerado normal, estando o mesmo de acordo com a Resolução ANEEL 505/2001.

As manutenções realizadas no sistema de distribuição alimentado pelo transformador T2 da SE Araucária, obtiveram um resultado positivo, reduzindo os afundamentos ocasionados por este no processo industrial.

Na análise comparativa entre a alimentação da AAM pela subestação atual e pela futura, identifica-se que haverá uma redução da área de vulnerabilidade e conseqüente melhora de qualidade de energia após a alteração.

O relé de subtensão instalado na subestação principal do consumidor estava originando desligamentos na fábrica de forma incorreta. Após a retirada de operação do mesmo, diminuíram consideravelmente as interrupções na fábrica.

Com o estudo realizado, a AAM pode identificar com detalhes o grau de sensibilidade de cada máquina frente aos afundamentos de tensão, proporcionando inclusive a definição da prioridade no caso de imunização dos equipamentos.

O consumidor está realizando um trabalho de melhoria de sensibilidade de suas máquinas, e em conjunto com a COPEL e com os fabricantes dos equipamentos, conseguiu compreender melhor os problemas envolvendo afundamentos de tensão, diminuindo assim as suas reclamações com a concessionária.

A participação efetiva da COPEL neste estudo de qualidade de energia, auxiliou na melhoria do relacionamento concessionária e consumidor.

Apesar do processo de melhoria ser contínuo este é um exemplo de como problemas com afundamentos de tensão podem ser tratados.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Bollen, M.H.J., *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, IEEE Press, 2000

[2] Oliver, J.A. – *Power Quality: How to Specify POWER-QUALITY-TOLERANT Process Equipment* - IEEE Industry Applications Magazine, pp. 21-30, Sept/Oct 2002

[3] Dugan, R.C. & McGRANAGHAN, M.F.E. & BEATY, W. *Electrical Power Systems Quality*. New York, Ed. MacGraw-Hill, 1996

