

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

AFUNDAMENTO DE TENSÃO – “VOLTAGE SAG”

Área de Energia Elétrica

por

Luiz Carlos Bigon

João Hermes Clerici, Eng.
Orientador

Campinas (SP), Dezembro de 2007

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

AFUNDAMENTO DE TENSÃO – “VOLTAGE SAG”

Área de Energia Elétrica

por

Luiz Carlos Bigon

Relatório apresentado à Banca Examinadora do
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia
Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: João Hermes Clerici, Eng.

Campinas (SP), Dezembro de 2007

**Dedico aos meus pais que me ensinaram a principal lição de vida,
ter caráter e honestidade
e pelo esforço que sempre fizeram para nos educar.**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à DEUS por ter me dado esta oportunidade de concluir o nível superior.

Agradeço à meus pais que sempre se dedicaram à família, juntando todos os esforços para nos educar.

À minha noiva Patrícia, que sempre me apoiou, incentivou e ajudou com seu carinho e afeto.

Ao professor João Hermes, a quem sempre admirei pela sua dedicação, profissionalismo e pela orientação.

Ao amigo Luiz Marcelo, que também sempre me encorajou nos momentos difíceis.

Aos amigos Stanley e Dalton da CPFL pela presteza e cortesia.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
GLOSSÁRIO.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. O FORNECIMENTO DE ENERGIA.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivos Específicos.....	3
1.3. METODOLOGIA.....	3
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
2. QUALIDADE DE ENERGIA.....	4
2.1. DEFINIÇÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS UTILIZADOS EM QUALIDADE DE ENERGIA.....	6
2.2. AFUNDAMENTO DE TENSÃO.....	7
2.2.1. Possíveis causas dos Afundamentos de Tensão.....	9
2.3. MEDIDAS CORRETIVAS.....	10
2.3.1. Alteração das Práticas de Proteção.....	10
2.3.2. Modernização dos Instrumentos e Filosofia de Proteção.....	10
2.3.3. Transferência entre fontes independentes.....	11
2.3.4. Sistemas de Alimentação Ininterruptos.....	11
2.3.5. Grupo Moto-Gerador (UPS rotativo).....	13
2.3.6. Supercondutores Magnéticos de Armazenamento de Energia.....	14
2.3.7. Transformadores Ferroressonantes.....	15
2.3.8. Utilização de métodos de partida de motores.....	17
2.3.9. Melhorar as práticas para o restabelecimento do sistema da concessionária em caso de faltas.....	17
2.3.10. Adotar medidas de prevenção contra faltas no sistema da concessionária.....	17
3. ESTUDO DE CASO.....	18
3.1. APRESENTAÇÃO.....	18
3.2. INTRODUÇÃO.....	18
3.3. DESCRIÇÃO.....	19
3.4. AQUISIÇÃO DE DADOS EM CAMPO.....	22
3.4.1. Descrição do medidor MARH-21.....	22
3.5. PERTURBAÇÕES E LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS.....	22

3.6. SEVERIDADE DOS EVENTOS EM FUNÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROTEÇÃO.....	26
3.7. ANÁLISE DE DADOS	27
3.8. DIRECIONAMENTO DE AÇÕES NA REDE DA CONCESSIONÁRIA..	28
3.9. PROPOSTAS DE MELHORIA NO SISTEMA DO CLIENTE	30
3.10. CONCLUSÕES	30
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	American National Standards Institute
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção no Consumidor
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
IHM	Interface Homem Máquina
ONS	Operador Nacional do Sistema
QE	Qualidade de Energia
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
RMS	Root Mean Square
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TMA	Tempo Médio de Atendimento
UPS	Uninterruptible Power System
USF	Universidade São Francisco
VTCD	Variação de Tensão de Curta Duração

GLOSSÁRIO

IM	Interrupção Momentânea ($0 \leq IM \leq 35[s]$)
ITIC	Information Technology Industry Council
Sag	Afundamento de Tensão
Soft Started	Partida Suave (motor elétrico)
Swell	Elevação de Tensão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Afundamento de Tensão de 50% - Valores instantâneos	8
Figura 2 – UPS on-line	12
Figura 3 – UPS standby	12
Figura 4 – UPS Híbrida	13
Figura 5 – Esquema de um Moto-Gerador	14
Figura 6 – Diagrama on-line de um dispositivo semicondutor de armazenamento de energia	15
Figura 7 – Circuito Típico de um transformador de tensão constante	16
Figura 8 – Melhoramento contra afundamentos através de um transformador ferroressonante.....	16
Figura 9 – Diagrama Unifilar da Subestação	20
Figura 10 – Diagrama de alimentadores.....	21
Figura 11 – Gráfico de SAGs registrados.....	23
Figura 12 – Gráfico de SAGs e curva ITIC	24
Figura 13 – Gráfico corrente x tempo - alimentador 3, para o 1º evento	27
Figura 14 – Gráfico corrente x tempo - alimentador 3, para o 2º evento	27
Figura 15 – Região do alimentador 3 delimitada para ações de inspeção e manutenção.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da Tensão de Atendimento.....	5
Tabela 2 – Classes e características típicas de fenômenos eletromagnéticos nos sistemas elétricos...7	
Tabela 3 – SAGs x Ocorrências na rede da concessionária.....	25
Tabela 4 – Ajustes de proteção do alimentador 3	26

RESUMO

O Afundamento de Tensão – Voltage Sag, tem-se caracterizado como sendo um sério problema para as indústrias com cargas sensíveis, reduzindo a qualidade de energia e causando sérios prejuízos e insatisfação dos clientes das concessionárias de Energia Elétrica.

Neste trabalho são levantadas as causas, fatores e características que geram o Afundamento de Tensão.

Complementando é apresentado o estudo de caso para o problema do Afundamento de Tensão ocorrido numa grande instalação industrial ligada à rede de distribuição de energia da região metropolitana de Campinas. Para tanto são verificadas as curvas de sensibilidade dos principais equipamentos eletro-eletrônicos e dos devidos equipamentos de proteção.

Finalizando, serão apresentadas as medidas tomadas para a solução do problema.

BIGON, Luiz. Afundamento de Tensão – “Voltage Sag”. Campinas, 2007. no f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Campinas, 2007.

Palavras-chave: Depressão . Variação de tensão. Voltage. Sag.

ABSTRACT

The VoltageSag, has been characterized like being a serious problem for the industries with sensitive loads, reducing to quality of power and causing serious damages and dissatisfaction of the clients of the power distribution company.

In this work there are shown the causes, factors and characteristics that produce the voltage sag.

Complementing, the case study is presented for the problem of the voltage sag occurred in a great industrial customer, connected with the net of power distribution of the metropolitan region of Campinas. For so much there are checked the curves of sensibility of the principal electro-electronic equipments and of the proper equipments of protection.

Finishing, there will be presented the measures taken for the solution of the problem.

BIGON, Luiz. Afundamento de Tensão – “Voltage Sag” . Campinas, 2007. no f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Campinas, 2007.

Keywords: *Voltage Sag, Power Quality*

1. INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade de energia elétrica ou qualidade do fornecimento de energia sofreu, nas últimas décadas, grandes alterações devido à mudança na natureza e sensibilidade das cargas. Isto tem afetado principalmente o relacionamento entre os consumidores e as concessionárias, onde a qualidade de energia em diversos casos não está mais associada exclusivamente aos eventos de interrupção prolongadas, com registro da respectiva causa, mas também aos eventos de variações de tensão de curta duração (SAG / SWELL) e distorção da forma de onda (harmônicos). Até pouco tempo atrás estes eventos não eram registrados pelos sistemas das concessionárias, porém afetam os processos produtivos dos clientes com cargas sensíveis, causando interrupção parcial ou total de seus processos e, como consequência, levando a perdas econômicas consideráveis e desgaste na relação comercial entre as partes.

Consequentemente as concessionárias tem empenhado grandes esforços em análises da qualidade de energia, para amenizar e eliminar os possíveis transtornos e prejuízos, com o objetivo de manter um bom relacionamento técnico e comercial, além de ser um diferencial na competitividade das empresas distribuidoras.

Para as análises e diagnósticos das causas das paradas dos processos produtivos, são necessárias medições no ponto de conexão do cliente, com registro da forma de onda de tensão e corrente e respectivas variações instantâneas ou momentâneas destes parâmetros. Juntamente com estes registros é realizado o acompanhamento de ocorrências no sistema onde estão localizados os consumidores (linha de transmissão, subestação e alimentadores de distribuição), associando os registros do medidor de qualidade de energia com as respectivas ocorrências.

Em variações de tensão de curta duração a severidade destas ocorrências é determinada pelas características elétricas do sistema e da falta ocorrida, além do sistema de proteção existente (disjuntores, religadores), incluindo seus respectivos ajustes.

Com o levantamento destas informações é possível a avaliação da necessidade de priorização de inspeção e manutenção na rede da concessionária, possíveis ajustes no sistema de proteção, alterações na configuração da rede de distribuição, além de direcionar ações nas instalações do cliente.

1.1. O FORNECIMENTO DE ENERGIA

A energia elétrica gerada todos os dias pelas diversas fontes do sistema interligado é distribuída por um sistema composto de vários tipos de redes (aéreas / subterrâneas) para chegar nos centros consumidores de carga [1].

Visando manter o nível de tensão dentro de faixas de operação adequadas, no sistema de transmissão como de distribuição, é necessária a atuação do órgão governamental de controle e das concessionárias distribuidoras de energia, no acompanhamento de indicadores de qualidade de fornecimento. Esta atuação é necessária devido a susceptibilidade do sistema de distribuição de energia à variações de tensão curta duração, as quais mesmo estando em patamares pré-estabelecidos, acabam gerando operações indevidas os equipamentos elétricos sensíveis à estas variações [1].

A avaliação da condição de operação de um sistema (se normal ou anormal) é feita analisando a tensão e frequência. O sistema interligado brasileiro tem a frequência na faixa de $60 \pm 0,5$ Hz. Porém para a análise da tensão é necessário verificar [1]:

- Forma de onda senoidal ou características muito próximas deste modelo;
- Sistema elétrico simétrico;
- Magnitudes das tensões dentro de limites aceitáveis.

Porém alguns fenômenos que podem ser aleatórios ou intrínsecos, ocorrem no sistema elétrico alterando as características da tensão e frequência, prejudicando a qualidade do fornecimento de energia elétrica [1]. Dentre os fenômenos pode-se citar: afundamentos e/ou elevações de tensão, interrupções, distorções harmônicas, flutuações de tensão, oscilações, ruídos, sobretensões, etc.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho pretende caracterizar e definir o fenômeno de Afundamento de Tensão, apresentando um estudo de caso referente a este distúrbio nas instalações de uma fábrica de biscoitos, demonstrando os procedimentos para diagnóstico das causas e as medidas adotadas para a solução deste caso.

1.2.1. Objetivos Específicos

Objetivos.

- Demonstrar procedimentos para diagnosticar as causas do Afundamento de Tensão nas instalações industriais e das concessionárias de Energia Elétrica;
- Relatar medidas viáveis para atenuar ou eliminar o Afundamento de Tensão;
- Demonstrar as medidas tomadas com as devidas manutenções na rede de distribuição da concessionária visando evitar novos distúrbios nas instalações da indústria de biscoitos.

1.3. METODOLOGIA

Revisão bibliográfica sobre os casos clássicos do Afundamento de Tensão, estudo das normas nacionais e internacionais sobre o assunto e estudo de caso, utilizando dados de uma instalação de grande porte em conjunto com a rede de distribuição de uma concessionária de energia.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho visa a apresentação e caracterização do fenômeno do Afundamento de Tensão que é um sério problema para as indústrias com cargas sensíveis acarretando sérios prejuízos e insatisfação dos clientes das concessionárias de Energia Elétrica.

É apresentado um estudo de caso de um grande consumidor industrial afetado pelo SAG e finalizando são apresentadas as medidas para a solução do caso.

O trabalho organiza-se em três capítulos , no capítulo 1 é realizada a introdução ao assunto e descrito as formas de geração e fornecimento de energia elétrica. No capítulo 2 é definida a qualidade de energia e afundamento de tensão com suas possíveis causas e medidas corretivas.

No capítulo 3 é apresentado o estudo de caso com sua descrição, medição, diagnóstico do problema e levantamento das ocorrências. Neste capítulo também são apresentadas as ações de melhoria na rede da concessionária e no sistema do cliente com as referidas análise de dados e conclusões.

2. QUALIDADE DE ENERGIA

Os sistemas elétricos estão sujeitos à interrupções provocadas por “causas naturais” bem como pela falta ou realização inadequada de manutenção preventiva, conseqüentemente causam a parada de processos com a redução da produtividade dos consumidores. Para o consumidor residencial, a sua percepção de baixa qualidade de energia elétrica é realmente a falta de energia. Se esta falta não for muito demorada, a satisfação do consumidor não será tão afetada bem como as suas perdas econômicas. A satisfação do consumidor residencial está relacionada com o tempo de interrupção, a qual é afetada geralmente com uma interrupção acima de 30 minutos. Já o consumidor industrial, apresenta sérias perdas de processos com uma interrupção momentânea de meio segundo, causando grandes prejuízos financeiros [1]. Por exemplo, se o processo for de fabricação de tecido, a interrupção momentânea de tensão pode partir os fios do tecido. Para reiniciar o processo, será preciso emendar todos os fios que se partiram, e isso leva um certo tempo, com perda de produção. Se fosse um processo de estamparia, por exemplo, o tecido seria refugado uma vez que a estamparia ficaria fora dos padrões. Um outro exemplo em processo industrial com perdas é o de laminação de aço, quando as máquinas param, os operários têm que “desentupir” o laminador, cortando os varões de aço com maçaricos, além de manipulá-los sobre altas temperaturas.

Como o sistema elétrico é susceptível a estas variações e interrupções que conseqüentemente acarretam perdas econômicas isto se torna um grande motivo para estudos de Qualidade de Energia. Há grandes impactos econômicos nas companhias distribuidoras de energia e em seus consumidores/clientes e fornecedores de equipamentos [1].

O conceito de “Qualidade de Energia” está relacionado a um conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico [2]. Entre muitos apontamentos de literatura, podemos então apresentar o assunto como qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou desvio na frequência que resulta em falha ou má operação de equipamentos dos consumidores [2]. Tais alterações podem ocorrer em várias partes do sistema de energia, seja nas instalações de consumidores ou no sistema supridor da concessionária. Como causas mais comuns pode-se citar: perda da linha de transmissão, saída de unidades geradoras, chaveamento de bancos de capacitores, curto-circuito nos sistemas elétricos, operação de cargas com características não lineares, etc.

Quanto ao nível da “Qualidade de Energia” requerido, este é que possibilita uma devida operação do equipamento em determinado meio para o qual foi projetado. Usualmente, há um padrão muito bem definido de medidas para a tensão, de onde convencionalmente associa-se a “Qualidade de Energia” à qualidade de tensão, já que o fornecedor de energia pode somente controlar a qualidade de tensão, mas não tem controle sobre a corrente que cargas particulares ou específicas podem requerer. Portanto, o padrão aceito com respeito à QE é direcionado a manter o fornecimento de tensão dentro de certos limites.

A ANEEL através da resolução 505 de 26 de novembro de 2001, determina os valores de fornecimento de energia de acordo com a classe de tensão que o consumidor está ligado. Para o caso estudado onde o consumidor está ligado em 13,8 kV, se enquadra na classe de Tensão nominal superior a 1kV e inferior a 69 kV, estes valores podem ser observados de na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação da Tensão de Atendimento

Classificação da Tensão de Atendimento	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,93 TC \leq TL \leq 1,05 TC$
Precária	$0,90 TC < TL < 0,93 TC$
Crítica	$TL < 0,90 TC$ ou $TL > 1,05 TC$

Fonte: ANEEL, 2007

Até pouco tempo atrás a deficiência na qualidade de fornecimento de energia não afetava tanto os processos industriais e conseqüentemente a relação entre consumidor e distribuidora de energia, pois os equipamentos pouco sensíveis suportavam as variações no fornecimento. Atualmente, com o desenvolvimento da tecnologia, principalmente da eletrônica com comandos lógicos programáveis, tem despertado a preocupação das concessionárias e dos consumidores com a qualidade da energia. Motivos desta preocupação [1]:

- Atualmente os equipamentos eletrônicos são mais sensíveis às variações na qualidade da energia. A grande maioria possui controles baseados em microprocessadores e dispositivos eletrônicos sensíveis a muitos tipos de distúrbios;
- O aumento do interesse e necessidade de racionalização e conservação da energia elétrica, visando otimizar a sua utilização, gerou aumento do uso de equipamentos eletrônicos que na maioria das vezes , elevam os níveis de distorções harmônicas e podem levar o sistema a condições de ressonância;

- Aumento do conhecimento dos consumidores em relação aos eventos ligados à qualidade da energia, com a elevação do grau de informação sobre interrupções, subtensões, transitórios de chaveamento, passando a exigir que as concessionárias melhorem a qualidade da energia fornecida;
- Processos integrados, com grandes perdas na decorrência de transitórios no sistema elétrico de distribuição;
- A vida útil dos componentes elétricos afetada pela má qualidade de energia.

2.1. DEFINIÇÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS UTILIZADOS EM QUALIDADE DE ENERGIA

Existem muitas imprecisões nos termos usados neste assunto, ainda recente, chamado de “Qualidade de Energia”. De acordo com a norma IEEE P1564-2001 [3], define-se [1]:

- Sag (ou algumas vezes chamado de dip): decremento do valor RMS da tensão de 0.1 a 0.9 pu com duração de 0.5 ciclo a 1 minuto.
- Swell: incremento do valor RMS da tensão de 1.1 a 1.8 pu com duração de 0.5 ciclo a 1 minuto.
- Interrupção: decremento do valor RMS da tensão abaixo de 0.1 pu com duração que não excede 1 um minuto.
- Interrupção Sustentada: decremento do valor RMS da tensão abaixo de 0.1 pu com duração maior que 1 minuto.
- Subtensão: decremento do valor eficaz da tensão a valores menores que 0.9 pu por mais de 1 minuto.
- Sobretensão: incremento do valor RMS da tensão a valores maiores que 1.1 pu por mais de 1 minuto.
- Notching: distúrbio periódico na tensão causado pela operação de equipamentos eletrônicos de potência quando a corrente é comutada de uma fase para a outra.

Inúmeros outros termos são utilizados nesta área de “Qualidade de Energia” cujas definições muitas vezes são imprecisas e ambíguas, e a razão principal para que isto aconteça é que este assunto é relativamente novo e tem muitos grupos de trabalho e de estudos envolvidos com ele em diferentes países [1].

2.2. AFUNDAMENTO DE TENSÃO

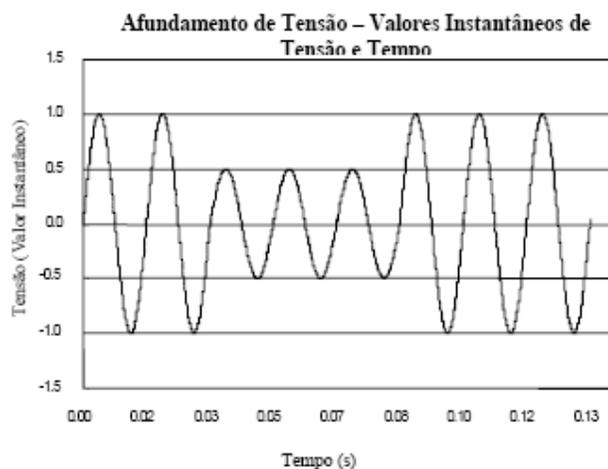
Dependendo da localização da falta e das condições do sistema, a falta pode causar um decréscimo temporário de 10-90% no valor eficaz da tensão do sistema (0.1 e 0.9 p.u., na frequência fundamental), podendo permanecer por um período de meio ciclo até 1 min Tabela 2[2].

Tabela 2 – Classes e características típicas de fenômenos eletromagnéticos nos sistemas elétricos

Fenômeno	Duração Típica	Amplitude de Tensão Típica
Variações de Curta Duração		
- Instantânea		
Afundamento	0.5 - 30 ciclos	0,1 - 0,9 p.u.
Elevação	0.5 - 30 ciclos	1,1 - 1,8 p.u.
- Momentânea		
Interrupção	0.5 ciclos - 3s	< 0,1 p.u.
Afundamento	30 ciclos - 3s	0,1 - 0,9 p.u.
Elevação	30 ciclos - 3s	1,1 - 1,4 p.u.
- Temporária		
Interrupção	3s - 1 min	< 0,1 p.u.
Afundamento	3s - 1 min	0,1 - 0,9 p.u.
Elevação	3s - 1 min	1,1 - 1,2 p.u.
Variações de Longa Duração		
Interrupção Sustentada	> 1 min	0,0 p.u.
Sub-tensão Sustentada	> 1 min	0,8 - 0,9 p.u.
Sobre-tensão Sustentada	> 1 min	1,1 - 1,2 p.u.

Para esclarecer a terminologia usada, é importante ressaltar que a referência de um afundamento de tensão de 0,8 p.u., refere-se à redução do valor eficaz em 20%, resultando em uma tensão de 0,8 p.u..

Na figura 1 é exemplificado um afundamento de tensão de 50% durante um determinado intervalo de tempo.



Fonte: SARAIVA FILHO, 2002

Figura 1 – Afundamento de Tensão de 50% - Valores instantâneos

Afundamentos de tensão são usualmente associados à faltas no sistema (curtos-circuitos ocorridos nas redes de distribuição), mas podem também ser causados pela energização de grandes cargas ou a partida de grandes motores e pela corrente de magnetização de um transformador.

Segundo as referências defini-se afundamento de tensão da seguinte forma:

- Segundo o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering):

A norma IEEE Std 1159-1995 [4] define afundamento de tensão como “um decréscimo entre 0,1 e 0,9 p.u. do valor eficaz da tensão nominal, com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto”. De acordo com esta norma um afundamento de tensão com intensidade menor do que 0,1 p.u. é considerado interrupção.

- Segundo a IEC (International Electrotechnical Commission):

A norma IEC define afundamento de tensão como: “uma redução súbita da tensão de um ponto do sistema elétrico, seguido de seu restabelecimento após um curto período de tempo, de 0,5 ciclos a uns poucos segundos.”

- Segundo o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico):

No Brasil, nos procedimentos de rede elaborado pelo ONS [5], item Padrões de Desempenho da Rede Básica, Submódulo 2.2, dentre os indicadores de avaliação da

qualidade de energia elétrica, definem-se as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD), englobando os fenômenos de Interrupção, Afundamento e Elevação de Tensão.

De acordo com esses procedimentos, entende-se por variação de tensão de curta duração: “um desvio significativo da amplitude da tensão por um curto intervalo de tempo”. A natureza, a magnitude e a duração, principais características de um afundamento de tensão, são parâmetros importantes a serem considerados. Outro parâmetro relevante para determinar os impactos dos afundamentos é a sua frequência de ocorrência que corresponde à quantidade de vezes que cada combinação dos parâmetros, duração e amplitude ocorre em determinado período de tempo, ao longo do qual um barramento tenha sido monitorado.

Um afundamento temporário de tensão atinge de forma danosa e prejudicial principalmente as indústrias. Geralmente os processos de produção são dependentes entre si. Com o avanço da tecnologia as indústrias utilizam máquinas modernas microprocessadas e equipamentos de eletrônica de potência.

Há duas possibilidades de eventos de prejuízos para uma indústria. Uma se refere quando o equipamento analisado durante o afundamento de tensão não chega a interromper o funcionamento, mas o modifica, por exemplo, (perda de torque, queda de velocidade, perda de sincronismo, etc.). A outra se refere quando o equipamento atingido interrompe o processo de produção.

2.2.1. Possíveis causas dos Afundamentos de Tensão

A principal causa de afundamento de tensão é o curto-circuito em qualquer ponto de fornecimento de energia, mas também pode ser gerada por partidas de grandes motores.

Os afundamentos de tensão gerados por partidas de grandes motores podem ser controlados, e geralmente não severos ao ponto de causar problemas nas cargas sensíveis. A maioria dos grandes motores parte de forma indireta, através de dispositivos próprios, como por exemplo a partir de chaves soft-starter. Sendo assim, a partida de grandes motores é uma causa secundária dos afundamentos de tensão.

Muitos curto-circuitos são causados por sobretensões que solicitam a isolação além de sua capacidade, e uma causa importante dessas sobretensões são as descargas atmosféricas. Mas a

isolação pode também ser degradada, danificada ou simplesmente anulada por outros agentes climáticos (vento, neve, névoa salinas, etc.), pelo impacto ou contato de animais, árvores, de veículos, etc., e, ainda como resultado do envelhecimento do material.

Um curto-circuito provoca uma grande elevação da corrente, e esta, por sua vez, ocasiona grandes quedas de tensão nas impedâncias do sistema. Quando ocorre um curto-circuito o afundamento de tensão se inicia e continua presente até que a proteção atue, eliminando a falta do sistema. Assim que a desconexão acontece, há a recuperação imediata da tensão, para aproximadamente seu valor anterior, em todos os pontos exceto nos desconectados. Algumas faltas são auto-eliminadas: o curto-circuito desaparece e a tensão se recupera antes de acontecer a desconexão.

2.3. MEDIDAS CORRETIVAS

As medidas corretivas visam o combate dos efeitos do afundamento de tensão. A adoção de medidas corretivas tem, como objetivo, adequar os equipamentos ao nível de qualidade de energia de suprimento. Estas medidas estão associadas ao tipo de consumidor ou carga que se deseja desensibilizar, como também ao tipo e origem do distúrbio da Qualidade de Energia.

2.3.1. Alteração das Práticas de Proteção

Sendo recente o relato de problemas devido os distúrbios com a QEE, principalmente à ocorrência de afundamento de tensão, a interrupção dos processos industriais pode ser resultado de uma proteção que não contempla estas situações deste tipo de distúrbio. Na maioria dos casos as cargas que desencadeiam a interrupção da produção nem sempre são as mais importantes. Conhecendo as características do afundamento de tensão – magnitude, duração e taxa de ocorrência – pode-se ajustar, de forma adequada, as proteções de subtensão de modo que estas cargas não sejam sensibilizadas por este distúrbio, mantendo o processo industrial [6].

2.3.2. Modernização dos Instrumentos e Filosofia de Proteção

A adoção de uma nova filosofia de proteção, com a popularização dos relés microprocessados, já é uma realidade em muitos processos industriais e nas concessionárias distribuidoras de energia elétrica. Com o recurso da seletividade lógica tem-se como resultado uma considerável redução no tempo de eliminação das faltas e conseqüentemente a redução do afundamento de tensão. Os relés modernos têm grande capacidade de comunicação, otimizando a

localização dos defeitos, diminuindo o tempo de restabelecimento dos sistemas elétricos de distribuição [6].

2.3.3. Transferência entre fontes independentes

Sendo possível a alimentação de uma instalação com dois alimentadores de fontes independentes, o fornecimento pode-se tornar adequado através do chaveamento estático destas fontes. Sendo o tempo de transferência de $\frac{1}{4}$ de ciclo, a carga não será afetada [6].

2.3.4. Sistemas de Alimentação Ininterruptos

Os sistemas de alimentação ininterruptos (UPS), vêm sendo empregados com sucesso, para alimentação de cargas críticas ou essenciais, como por exemplo: Comando Lógico Programável (CLP), computadores, etc.

Os UPS, basicamente são compostos por retificadores estáticos e inversores com baterias de armazenamento para alimentar cargas (sensíveis) durante o afundamento de tensão.

Os tipos básicos de UPSs fundamentam-se nas operações on-line e standby. A UPS híbrida, que corresponde a uma variação da UPS standby, também pode ser usada para interrupções de longa duração.

A figura 2 mostra uma configuração típica de uma UPS on-line. Nesta topologia, onde a carga é sempre alimentada através da UPS, a tensão de entrada é convertida em tensão CC, a qual carrega um banco de baterias sendo esta então , invertida novamente para tensão CA. Ocorrendo uma falha no sistema CA de entrada, o inversor é alimentado pelas baterias e continua suprindo a carga [2].

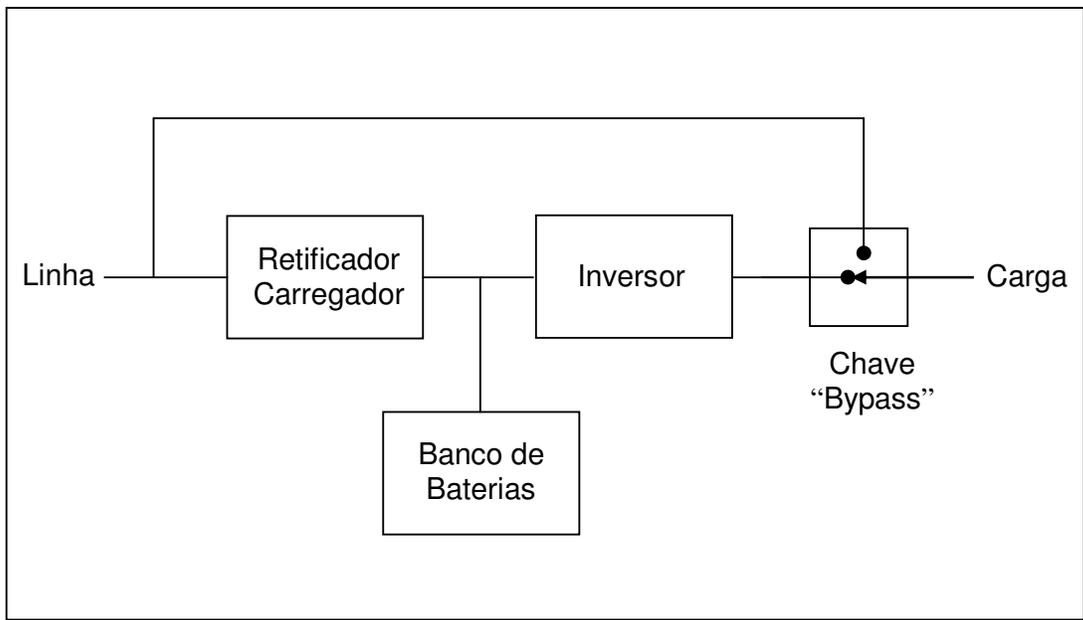


Figura 2 – UPS on-line

Uma unidade de UPS standby, mostrada na figura 3, é às vezes chamada de UPS off-line, visto que o suprimento normal de energia é usado para energizar o equipamento até que um distúrbio seja detectado. Uma Chave transfere a carga para o conjunto bateria-inversor [2].

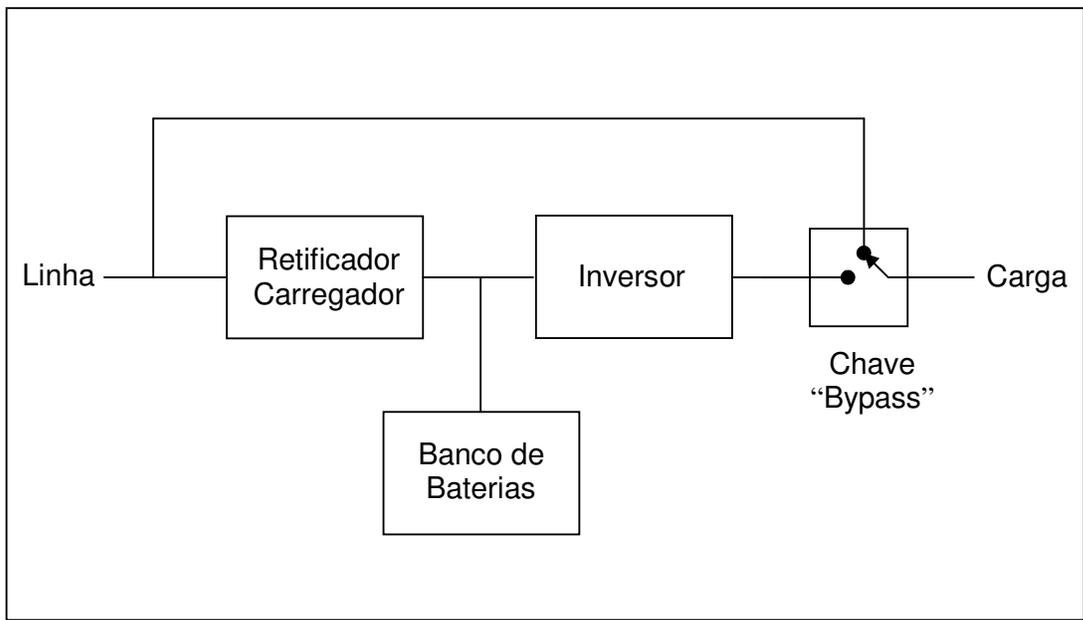


Figura 3 – UPS standby

Similarmente à topologia standby, a unidade UPS híbrida utiliza um regulador de tensão na saída para prover a regulação e manter momentaneamente o suprimento, quando da transferência de fonte convencional para a fonte UPS. Este arranjo é mostrado na figura 4 [2].

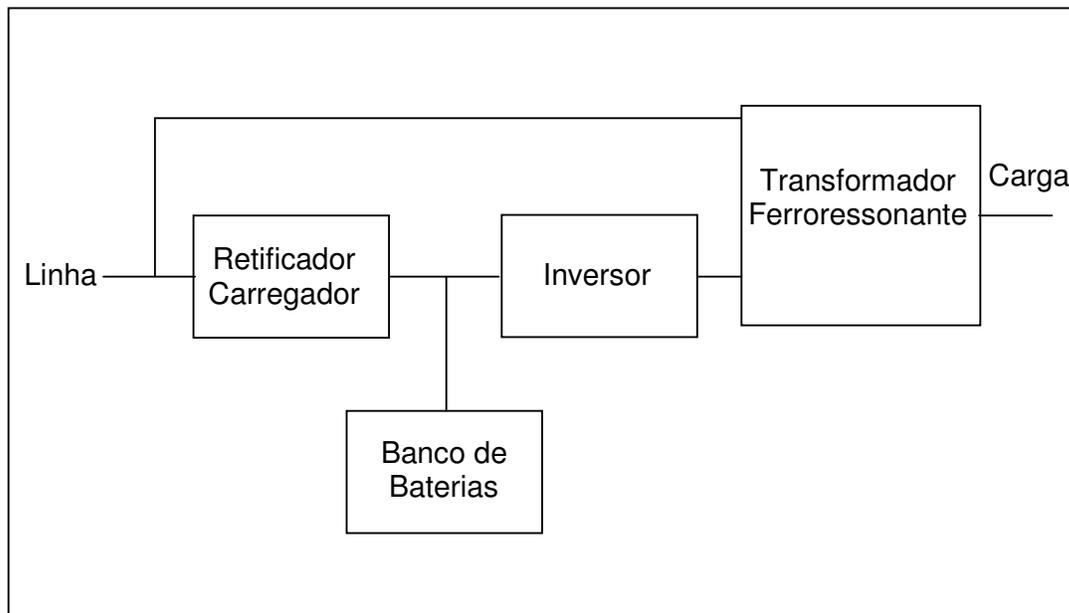


Figura 4 – UPS Híbrida

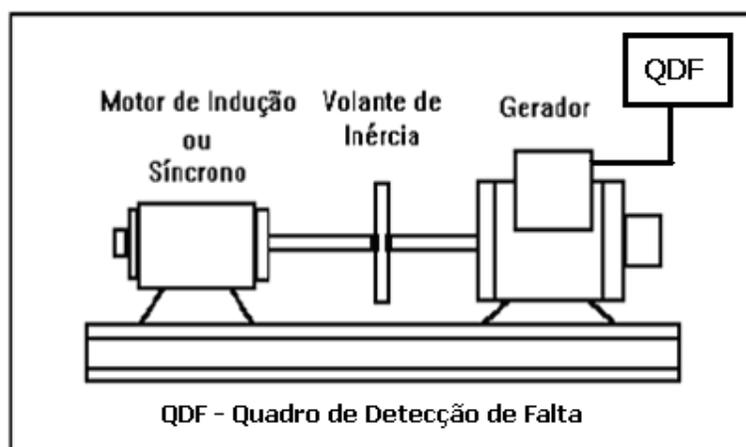
Quando se deseja a operação contínua de equipamentos, que são susceptíveis ao afundamento de tensão e interrupções de energia com duração maior que 0,5 segundos, utilizam-se os UPS.

Existem vários tipos de sistemas de UPS's. O sistema que se destaca é o UPS convencional associado a um grupo moto-gerador [6].

2.3.5. Grupo Moto-Gerador (UPS rotativo)

O grupo moto-gerador também é conhecido como UPS rotativo, uma vez que este grupo fornece energia ao sistema, através do momento de inércia do conjunto rotativo, quando das ocorrências de distúrbios (afundamento de tensão, interrupção, etc.). O momento de inércia do conjunto rotativo permite que o conjunto moto-gerador fique sem alimentação durante aproximadamente 0,3 [s]. Esta característica pode ser aprimorada através do acoplamento de um volante de inércia no eixo do conjunto rotativo [6].

O conjunto moto-gerador é constituído, basicamente, de um motor elétrico acionando um gerador AC e este alimenta a carga, desta forma a carga fica isolada eletricamente da fonte. Os geradores AC podem ser acionados por motores de indução ou por motores síncronos. A figura 5 representa um grupo moto-gerador típico. O conjunto moto-gerador tem um custo relativamente alto, sendo assim, a sua aplicação não é muito difundida.



Fonte: SARAIVA FILHO, 2002

Figura 5 – Esquema de um Moto-Gerador

2.3.6. Supercondutores Magnéticos de Armazenamento de Energia

Os supercondutores Magnéticos de Armazenamento de Energia (SMEs) são dispositivos armazenadores de energia baseados em supercondutores magnéticos. Estes dispositivos possuem a capacidade de fornecer energia elétrica às cargas sensíveis, por alguns segundos. A corrente que circula através do supercondutor produz um campo magnético onde é armazenada a energia. O supercondutor é refrigerado por fluido criogênico. O sistema de potência nominal 1[MW] é capaz de armazenar uma energia em torno de 0,3 [kWh] [6]. Os projetos na faixa de 1 a 5 [MJ] são chamados de micro-SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage). A vantagem do SMEs sobre o UPS está na alta capacidade de armazenamento de energia e por ser muito menor comparado com um UPS. O esquema geral de um SMEs é representado na figura 6 [2].

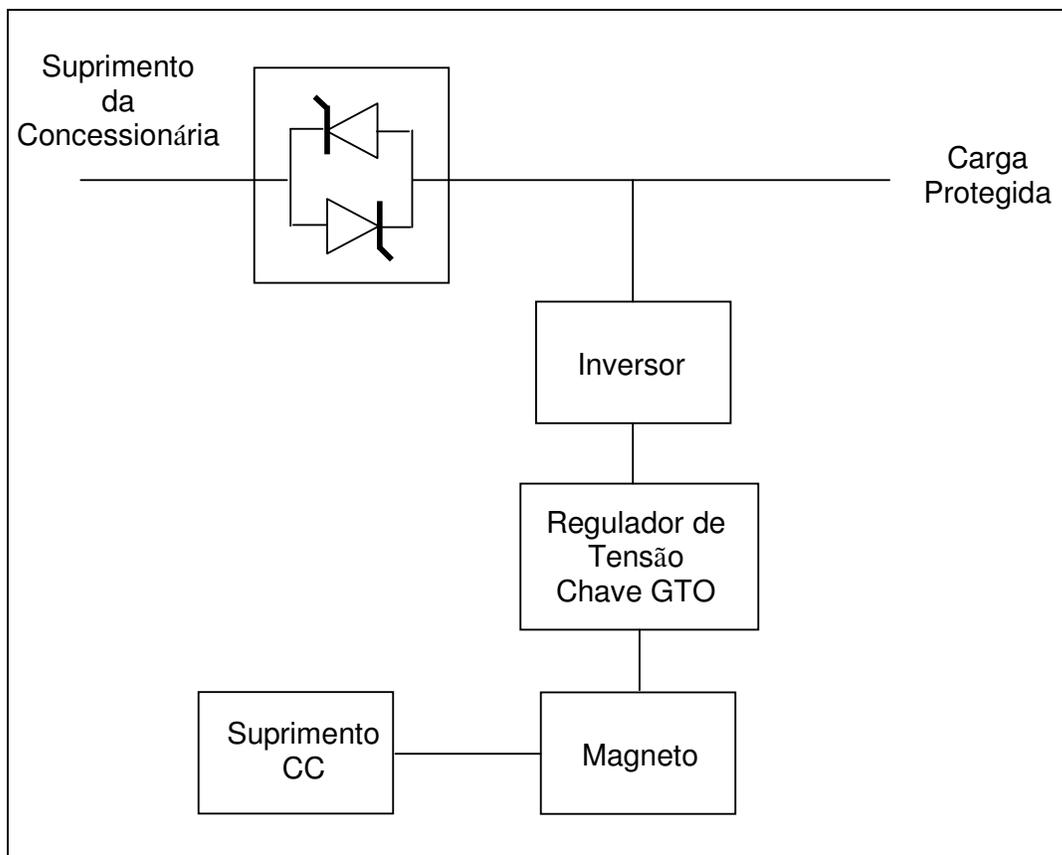
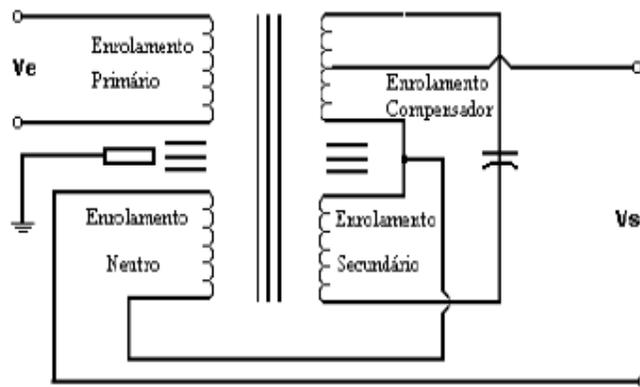


Figura 6 – Diagrama on-line de um dispositivo semicondutor de armazenamento de energia

2.3.7. Transformadores Ferroressonantes

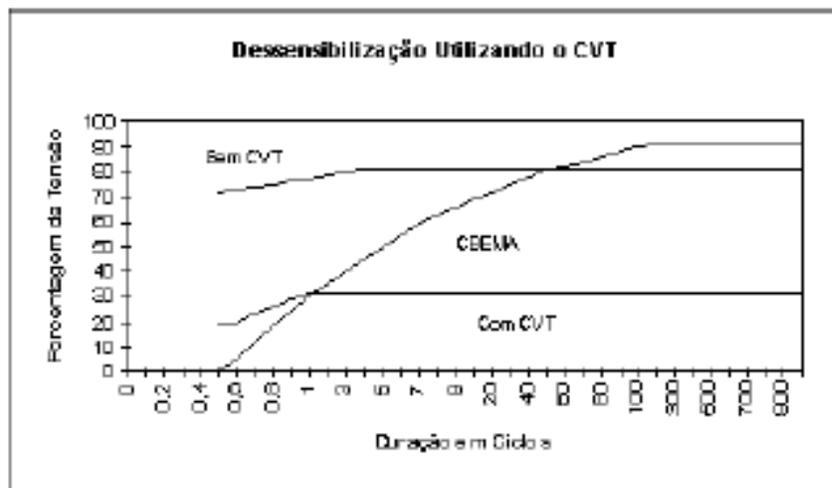
Estes tipos de transformadores também são conhecidos por transformadores de tensão constante (CVT) e também são uma alternativa para minimizar os impactos referentes à ocorrência de depressão de tensão. A utilização deste tipo de equipamento é especialmente para baixas potências. Geralmente possuem a relação de 1:1, altamente excitados em suas curvas de saturação, fornecendo tensão de saída que não é significativamente alterada pelas variações na tensão de entrada. A figura 7 apresenta um circuito típico de um transformador de tensão constante [2].



Fonte: SARAIVA FILHO, 2002

Figura 7 – Circuito Típico de um transformador de tensão constante

A figura 8 mostra o melhoramento obtido em um controlador de processos aumentando a sua capacidade de suportar afundamentos. O controlador de processos pode suportar um afundamento abaixo de 30% da nominal dispondo de um transformador ferroressonante de 120 VA. Sem o seu uso, este percentual fica em torno de 82% [2].



Fonte: SARAIVA FILHO, 2002

Figura 8 – Melhoramento contra afundamentos através de um transformador ferroressonante

2.3.8. Utilização de métodos de partida de motores

Dentre os mais utilizados pode-se citar os seguintes métodos de partida:

- Partida suave (Soft Started);
- Partida por meio de autotransformadores;
- Partida por meio de chaves compensadoras;
- Partida por meio de enrolamento parcial;
- Partida pelo método estrela-triângulo.

2.3.9. Melhorar as práticas para o restabelecimento do sistema da concessionária em caso de faltas

Isto implica em adicionar religadores de linha, eliminar as operações rápidas de religadores e disjuntores, adicionar sistemas do tipo Network e melhorar o projeto do alimentador. Estas práticas podem reduzir o número e a duração das interrupções momentâneas e afundamentos, mas as faltas nos sistemas das concessionárias nunca podem ser eliminadas completamente.

2.3.10. Adotar medidas de prevenção contra faltas no sistema da concessionária

Estas medidas incluem atividades como poda de árvores, instalação de pára-raios de linha, manutenção dos isoladores, blindagem de cabos, modificar o espaçamento entre condutores e melhorar o sistema de aterramento.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. APRESENTAÇÃO

O fenômeno de afundamento de tensão traz sérios prejuízos para as indústrias, bem como para a relação das concessionárias distribuidoras de energia com os consumidores.

Este estudo de caso apresenta o procedimento de análise de qualidade de energia efetuado em um cliente industrial que teve sua linha de produção afetada por afundamentos de tensão.

Foi analisada a configuração da rede de distribuição que atende o cliente. Coletados os dados de registros de desligamentos reclamados e suas respectivas causas. Estes dados foram comparados com os relatórios do medidor de qualidade de energia instalado na cabine do consumidor.

Os eventos registrados foram relacionados com as ocorrências no sistema da concessionária e atuação dos equipamentos de proteção existentes nesta rede, influenciando em sua característica e severidade.

Também são apresentadas as ações de manutenção realizadas no alimentador da concessionária após priorização de uma determinada região através da análise dos dados, juntamente com a proposta de melhoria apresentada ao cliente e não efetuada, através da instalação de condicionadores de energia, visando minimizar os desligamentos das cargas sensíveis, provocando conseqüente perda de produção.

3.2. INTRODUÇÃO

Atualmente, os profissionais da área de engenharia elétrica têm direcionado seus esforços para amenizar os possíveis transtornos e prejuízos associados aos distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica. O crescente interesse por este assunto deve-se ao uso, cada vez mais intenso de equipamentos eletroeletrônicos dentro das indústrias e por consumidores de um modo geral. Esta disseminação é possível graças ao desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, em especial à eletrônica de potência, que tem produzido uma nova geração de equipamentos, que possuem alta capacidade e baixo custo. Estes equipamentos, ao mesmo tempo que são responsáveis por grandes lucros na indústria devido a automação, são os principais causadores de interrupções nos processos industriais, uma vez que, são sensíveis a pequenas variações da QEE.

Deste modo, análises relacionadas à qualidade de energia são essenciais na manutenção do bom relacionamento técnico e comercial, além de ser um diferencial na competitividade das empresas distribuidoras.

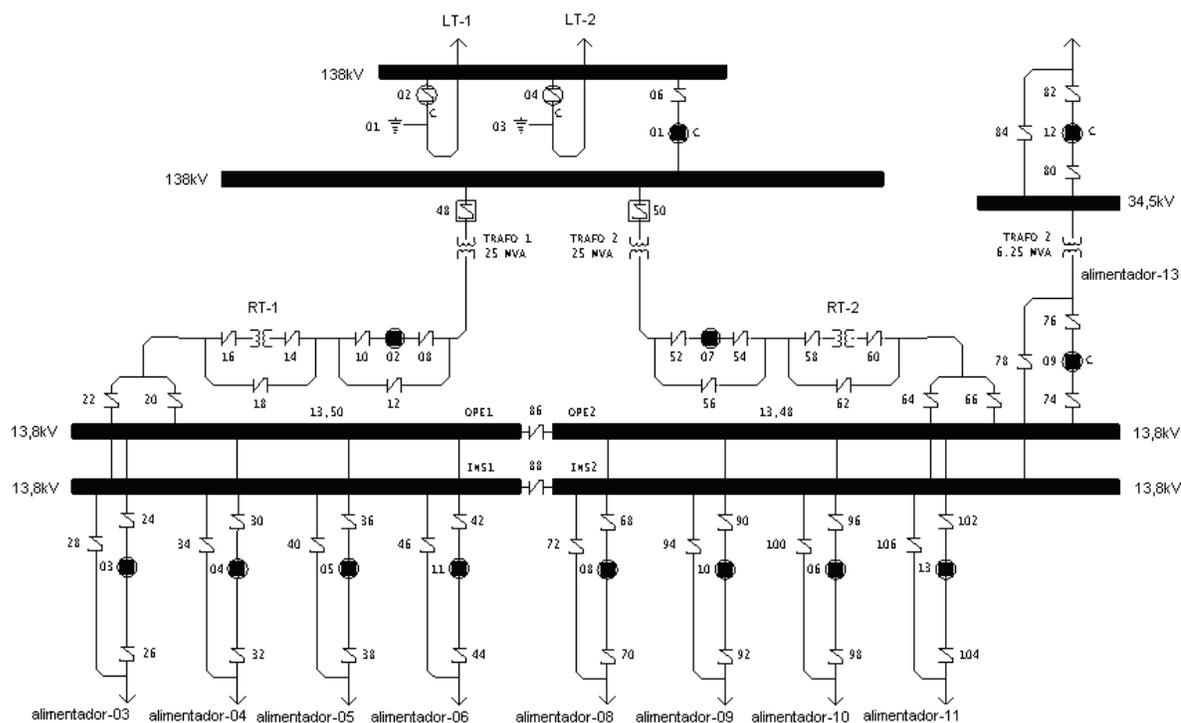
Atualmente os problemas associados à ocorrência de Afundamento de Tensão, representam em média 87% de todos os distúrbios [2]. Nesse sentido, pesquisas devem ser realizadas com o objetivo de conhecê-los, e assim, tentar minimizar os prejuízos através da adoção de medidas preventivas e corretivas.

3.3. DESCRIÇÃO

O cliente do ramo alimentício (fabricante de biscoitos) cujo caso é apresentado a seguir, registrou diversas reclamações de desligamentos totais e parciais em suas linhas de produção.

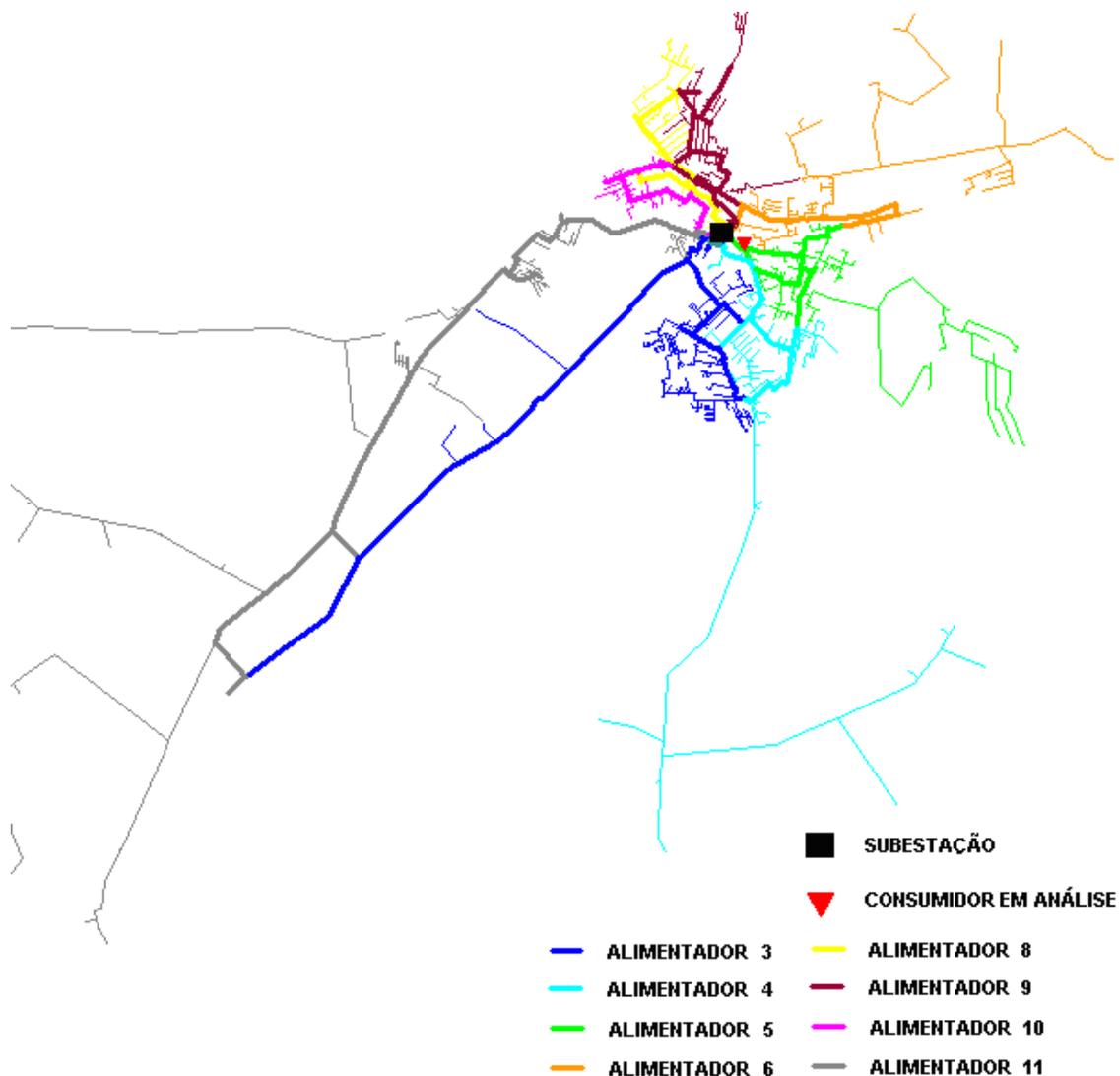
A cada desligamento ocorrido na produção do cliente, é necessário um tempo elevado para retomada dos processos, além de perda da matéria prima em processamento nas máquinas e esteiras no momento do desligamento. A fábrica possui atualmente diversas linhas de produtos, estando estas agrupadas em duas linhas gerais de produção, sendo uma antiga e outra de tecnologia mais recente, ambas conectadas a um sistema central de monitoramento.

Este cliente é atendido em média tensão (tensão nominal 13,8kV) através do alimentador 5 da subestação cujo diagrama unifilar é apresentado na figura 9, estando localizado a 300 metros desta subestação. Existem distribuídos nos dois barramentos desta subestação oito alimentadores com características distintas e um transformador elevador para a linha de transmissão de 34,5 kV que atende outra subestação. Os alimentadores 3, 4, 5 e 6 estão conectados ao mesmo barramento assim como os alimentadores 8, 9, 10, 11 e o transformador elevador de 34,5 kV, sendo o sistema trifásico e equilibrado. A figura 10 representa o diagrama de alimentadores desta subestação.



Fonte: CPFL, 2007

Figura 9 – Diagrama Unifilar da Subestação



Fonte: CPFL, 2007

Figura 10 – Diagrama de alimentadores

Em diversos casos de registro de reclamações de paradas nas linhas de produção, não houve registro de desligamento do alimentador 5 ou da subestação que atende o cliente, sendo registrados desligamentos com posterior religamento automático (interrupções momentâneas) em outros alimentadores. Também foram registrados diversos desligamentos (interrupções momentâneas) na rede da concessionária sem que estes eventos provocassem a interrupção da produção do cliente. A linha de produção mais nova registrou o maior número de desligamentos, demonstrando sua maior sensibilidade aos eventos ocorridos na rede.

3.4. AQUISIÇÃO DE DADOS EM CAMPO

Para obter as medidas em campo com os devidos registros dos parâmetros de tensão e posterior análise de eventos que estivessem provocando os desligamentos parciais e totais no processo produtivo do cliente, foi instalado um medidor de qualidade de energia na cabine de entrada, correspondendo ao ponto de entrega da concessionária.

3.4.1. Descrição do medidor MARH-21

Analizador de Energia, Harmônicos e Oscilografia de Perturbações.

Registrador digital portátil, trifásico, programável, destinado ao registro das tensões, correntes, potências, energia, harmônicas e oscilografia de perturbações em sistemas elétricos de geração, consumo e distribuição assim como circuitos de alimentação de máquinas elétricas em geral.

Atende todas as especificações técnicas exigidas pela ANEEL na resolução 505 de 26 de novembro de 2001.

3.4.1.1. Aplicação

O medidor foi parametrizado para registro de variações acima ou abaixo de 10% do valor nominal da tensão contratada (13,8 kV), com a gravação da forma de onda dos ciclos anteriores e posteriores ao início da perturbação, além da distorção harmônica total (e respectivas componentes) de tensão e corrente.

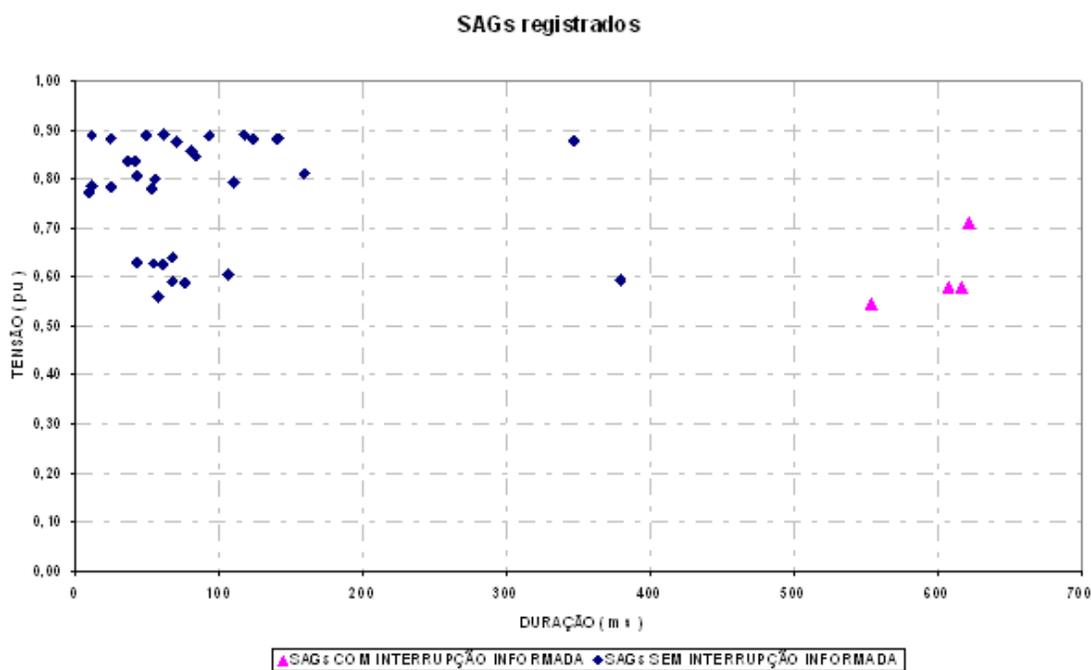
3.5. PERTURBAÇÕES E LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS

O período de coleta de dados foi de 79 dias, com registro da formas de onda de tensão e corrente, com suas respectivas variações, de acordo com a parametrização anteriormente descrita. Durante este período o cliente foi orientado a registrar a data e horário de todos os desligamentos ou perturbações totais ou parciais verificados em suas instalações, informando a concessionária.

Os valores de distorção harmônica de tensão e corrente estavam dentro dos limites estabelecidos pelas normas do órgão regulador (ANEEL). Porém foram registrados diversos eventos de variações de tensão de curta duração (SAGs).

Sendo diagnosticado o desligamento das cargas sensíveis do cliente em função destas variações de tensão de curta duração (SAGs), foram plotados os eventos no gráfico de severidade (tensão em Pu) x (tempo duração em ms).

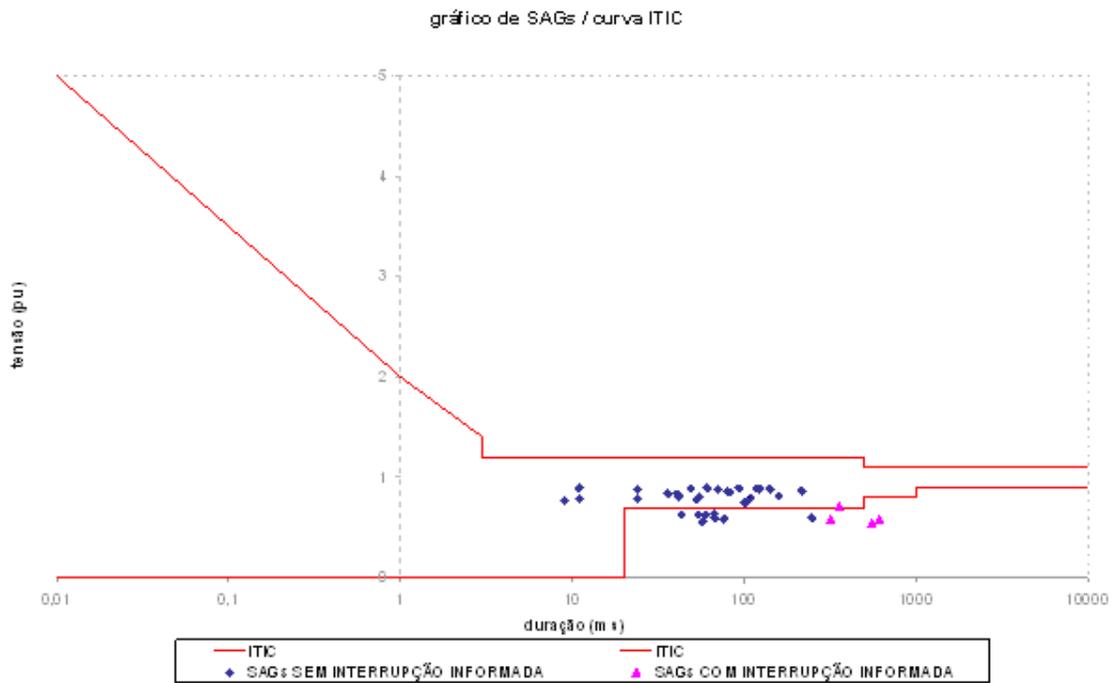
Dentre os diversos eventos registrados, apenas quatro provocaram desligamentos na produção segundo informação do cliente, apresentados na figura 11, juntamente com os eventos onde a concessionária não foi informada de desligamentos na produção.



Fonte: CPFL, 2007

Figura 11 – Gráfico de SAGs registrados

Na figura 12 são apresentados os eventos juntamente com a curva ITIC utilizada como parâmetro de sensibilidade para equipamentos eletrônicos.



Fonte: CPFL, 2007

Figura 12 – Gráfico de SAGs e curva ITIC

Em seguida, foi realizado o levantamento das ocorrências no sistema da concessionária nas datas e horários dos SAGs registrados pelo medidor de qualidade de energia, através das informações do sistema de telecomando remoto da subestação (IHM) e locais dos alimentadores. Deste modo foram relacionados os SAGs às ocorrências no sistema da concessionária. Estes dados podem ser observados na tabela 3.

Uma interrupção com um intervalo de tempo entre 0 e 35s é caracterizada como momentânea.

Tabela 3 – SAGs x Ocorrências na rede da concessionária

DATA	HORA	DURAÇÃO (ms)	TENSÃO MÍNIMA (pu)	EVENTO NO SISTEMA DA CONCESSIONÁRIA	INFORMAÇÃO DO CLIENTE
22/mai	04:04	49	0,89	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
24/mai	16:42	80	0,86	[IM] LT 34,5KV	SEM INFORMAÇÃO
24/mai	16:50	61	0,89	[IM] LT 34,5KV	SEM INFORMAÇÃO
24/mai	16:50	117	0,89	[IM] LT 34,5KV	SEM INFORMAÇÃO
24/mai	16:51	141	0,88	[IM] LT 34,5KV	SEM INFORMAÇÃO
30/mai	12:05	24	0,88	[IM] ALIMENTADOR 10	SEM INFORMAÇÃO
5/jun	06:47	123	0,88	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
7/jun	18:01	57	0,56	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
10/jun	14:24	60	0,63	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
11/jun	11:38	110	0,79	[IM] ALIMENTADOR 4	SEM INFORMAÇÃO
17/jun	10:13	67	0,59	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
17/jun	17:40	379	0,59	[IM] ALIMENTADOR 4	SEM INFORMAÇÃO
17/jun	17:41	41	0,84	[IM] ALIMENTADOR 4	SEM INFORMAÇÃO
29/jun	09:40	347	0,88	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
4/jul	10:56	67	0,64	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
7/jul	10:58	11	0,79	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
8/jul	09:02	9	0,77	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
8/jul	12:11	24	0,78	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
8/jul	14:24	70	0,88	[IM] ALIMENTADOR 9	SEM INFORMAÇÃO
8/jul	15:45	114	0,69	[IM] ALIMENTADOR 9	SEM INFORMAÇÃO
10/jul	07:28	140	0,88	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
10/jul	13:42	83	0,85	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
12/jul	10:36	36	0,84	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
13/jul	23:24	159	0,81	[IM] ALIMENTADOR 4	SEM INFORMAÇÃO
13/jul	23:25	42	0,81	[IM] ALIMENTADOR 4	SEM INFORMAÇÃO
14/jul	16:11	609	0,58	[IM] ALIMENTADOR 3	INFORMADA INTERRUPÇÃO
14/jul	16:11	554	0,55	[IM] ALIMENTADOR 3	INFORMADA INTERRUPÇÃO
15/jul	08:32	622	0,71	[IM] ALIMENTADOR 3	INFORMADA INTERRUPÇÃO
16/jul	12:54	76	0,59	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
16/jul	13:45	54	0,63	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
18/jul	13:19	55	0,8	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
20/jul	08:26	11	0,89	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
22/jul	11:46	53	0,78	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
27/jul	15:39	43	0,63	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO
5/ago	10:58	602	0,58	[IM] ALIMENTADOR 3	INFORMADA INTERRUPÇÃO
6/ago	13:42	93	0,89	SEM REGISTRO	SEM INFORMAÇÃO

[IM] – Interrupção Momentânea

Fonte: CPFL, 2007

3.6. SEVERIDADE DOS EVENTOS EM FUNÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROTEÇÃO

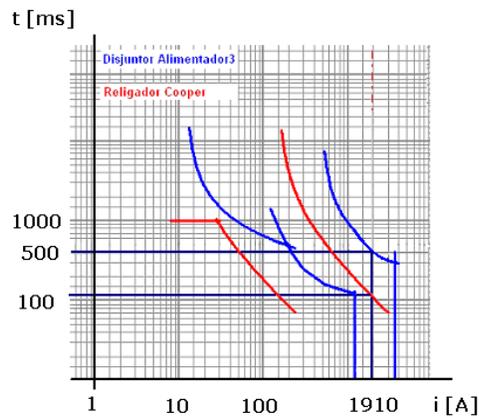
Conforme apresentado anteriormente, os eventos de SAGs registrados foram caracterizados em função da variação em relação à tensão nominal e tempo de duração.

Conforme registros de eventos do relé de proteção digital modelo P122 do fabricante Areva, instalado no alimentador-03, para o primeiro evento do dia 14 de julho ocorrido às 16h11min45s foi registrada uma corrente de curto circuito entre duas fases de 1910A, sendo esta provocada por pipa na rede. Através dos ajustes parametrizados no relé, conforme tabela 4 e representados graficamente na figura 13, foi verificado que para este valor de corrente o tempo de abertura do disjuntor foi de aproximadamente 600ms, sendo 500ms em função de parametrização do relé (zona de atuação da unidade temporizada), somado a 100ms devido ao tempo inerente de abertura do disjuntor. O relé de proteção registrou no segundo evento ocorrido nesta mesma data às 16h11min51s, um valor de corrente de curto circuito entre duas fases de 2190A, provocada também por pipa na rede. Neste segundo evento foi verificado que para este valor de corrente o disjuntor levou aproximadamente 554ms para abertura, sendo 454ms do ajuste da proteção (zona de atuação da unidade temporizada) somada a 100ms do tempo inerente de abertura do disjuntor, conforme apresentado na figura 14. Os afundamentos de tensão provocados em função destas faltas, de acordo com a tabela 2, causaram desligamentos na linha de produção de tecnologia mais recente. Para minimizar a severidade dos SAGs, a primeira alternativa seria reduzir a magnitude do afundamento de tensão, sendo necessário o aumento dos níveis de curto-circuito do sistema através de obras de recondutoramento e construção de linhas, não sendo viável em função do custo e tempo de execução elevados. Outra alternativa seria a redução no tempo de duração do afundamento, estando este associado diretamente ao estudo dos ajustes de proteção, com o aumento na área de atuação da unidade instantânea, ou seja, redução do ajuste.

Tabela 4 – Ajustes de proteção do alimentador 3

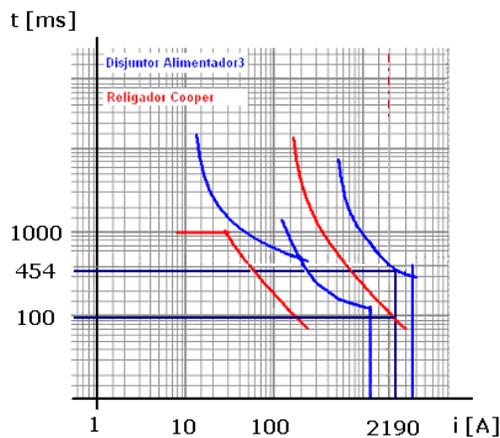
Alimentador 03			
RTC	600/5		
Relés	Fase	Neutro	51GS
Tipo	P122	CDG23	P122
Tap	4	0,5	0,1
Corrente Primária	480(A)	60(A)	12(A)
Curva	0,1 NI	0,1	0,2 NI
Instantâneo	30	10	
Corrente Primária	3600(A)	1200(A)	

Fonte: CPFL, 2007



Fonte: CPFL, 2007

Figura 13 – Gráfico corrente x tempo - alimentador 3, para o 1º evento



Fonte: CPFL, 2007

Figura 14 – Gráfico corrente x tempo - alimentador 3, para o 2º evento

3.7. ANÁLISE DE DADOS

Através da medição de qualidade de energia efetuada no ponto de conexão do cliente foi identificada a causa dos desligamentos reclamados devido a variações de tensão de curta duração SAGs, provenientes de faltas em outros alimentadores, sem o registro de ocorrências no alimentador 5 ou subestação que atende ao cliente, estando os valores de tensão em regime permanente, indicadores de continuidade do fornecimento e também distorções harmônicas, dentro de valores limites estabelecidos conforme resolução da ANEEL e normas da concessionária.

O registro destes SAGs e suas respectivas características de magnitude e tempo de duração, associado aos registros de eventos na rede da concessionária obtidos através do sistema de telecomando remoto da subestação e local dos equipamentos de proteção existentes na rede de distribuição, além dos dados registrados pelo cliente com data e horário dos desligamentos ocorridos em suas instalações, possibilitaram identificar no caso do curto-circuito entre duas fases, a região onde era maior a ocorrência de defeitos que provocavam SAGs e afetavam as cargas do cliente mais sensíveis a estas variações.

Visando minimizar a severidade dos SAGs registrados, uma alternativa seria a redução na magnitude do afundamento de tensão, sendo necessário o aumento dos níveis de curto-circuito do sistema através de obras de recondução ou construção de linhas. Outra alternativa seria a redução no tempo de duração destes SAGs. Neste caso é importante a contribuição da área de estudos de proteção não somente fornecendo as características e registros dos equipamentos existentes no sistema, mas também suas respectivas ordens de ajuste, estas determinadas em função das características da rede, coordenação e seletividade entre os diversos equipamentos instalados.

Deste modo, no caso apresentado, foi demonstrada a inviabilidade de redução nos tempos de atuação dos equipamentos de proteção existentes sem que isto prejudicasse sua seletividade e coordenação. Em outros casos esta redução nos tempos de atuação poderia ser viável para minimizar a severidade dos eventos e redução da frequência dos desligamentos das cargas sensíveis.

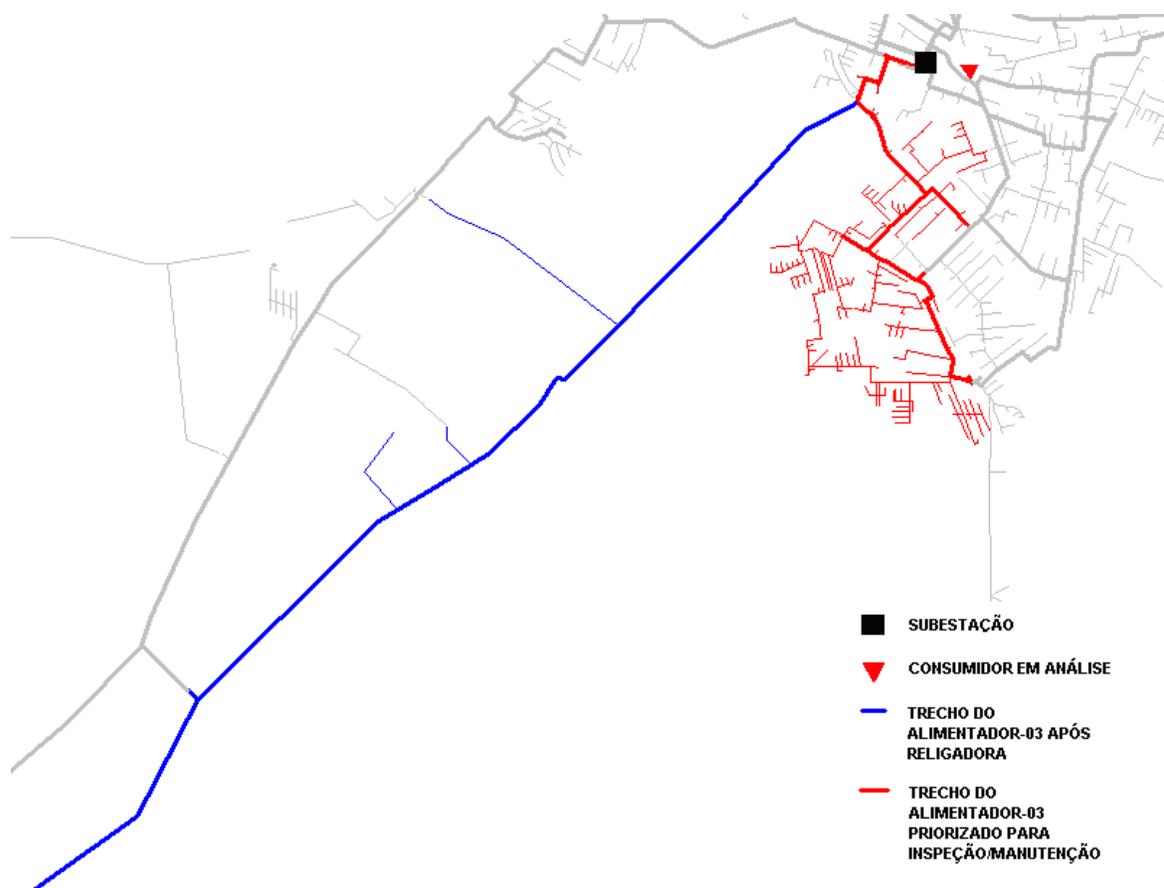
Propomos ao cliente a instalação de um UPS, pelo menos na sua linha de produção de tecnologia mais recente.

3.8. DIRECIONAMENTO DE AÇÕES NA REDE DA CONCESSIONÁRIA

Através das medições efetuadas, dados de leituras, históricos de ocorrências e ajustes dos equipamentos de proteção, foi priorizado o alimentador 3 para inspeções e manutenções (o cliente é atendido através do alimentador 5), visando minimizar a ocorrência de defeitos com conseqüente variação de tensão na barra da subestação, sensibilizando as cargas do cliente e afetando o seu processo produtivo.

O alimentador 3 possui ao todo 48,7 km de extensão, sendo 17,7 km em tronco e 31 km em ramais (34 km de trechos urbanos e 14,7 km de trechos rurais).

Através da análise dos equipamentos de proteção existentes neste alimentador, descrita anteriormente, foi possível delimitar uma região para ações, pois foi diagnosticado que defeitos nesta região que estava na zona de cobertura do disjuntor da subestação, resultavam em SAGs com características que em alguns casos afetavam as cargas do cliente. A região do alimentador delimitada para ações por parte da concessionária é mostrada na figura 15.



Fonte: CPFL, 2007

Figura 15 – Região do alimentador 3 delimitada para ações de inspeção e manutenção

As ações de inspeção e manutenção na região delimitada do alimentador 3, consistiram na retirada de pipas da rede e podas de árvores, troca de isoladores, cruzetas, pára-raios, adequação do espaçamento entre os cabos da rede primária de distribuição.

Visando manter as condições da rede, foi realizado em paralelo um programa de conscientização nas escolas, no bairro em questão, sobre pipas (principal causa dos desligamentos) e segurança na rede elétrica.

3.9. PROPOSTAS DE MELHORIA NO SISTEMA DO CLIENTE

Através do gráfico de SAGs registrados, foi também caracterizada a sensibilidade das cargas do cliente para afundamentos de tensão abaixo de determinado valor.

Foi proposta a possibilidade de redução na sensibilidade dos dispositivos de controle dos equipamentos (sem que isto afete a sua produção) através do aumento no tempo do afundamento suportado (com tempos acima do valor máximo registrado de 622 ms) ou redução no limite mínimo de tensão suportada (valores abaixo do valor mínimo registrado de 0,55 pu) correspondendo à região onde não foram registrados eventos.

Esta proposta está associada à instalação de condicionadores de energia UPS nos processos e equipamentos mais críticos e sensíveis a estes afundamentos, sendo as informações de severidade dos SAGs obtidas através dos dados de medição efetuada, além da frequência de ocorrência essenciais no seu dimensionamento, caso contrário seu custo se tornaria inviável.

3.10. CONCLUSÕES

A análise apresentada identificou que variações de tensão de curta duração SAGs provocados por “interrupções momentâneas” em outros alimentadores da subestação, eram as causas dos desligamentos na linha de produção do cliente conforme constatado pelo levantamento em campo.

No caso de SAGs ocorridos devido à faltas entre duas fases e registradas pelos equipamentos de proteção existentes na rede da concessionária, foi possível delimitar um alimentador e uma área para atuação e redução de ocorrências que afetassem o cliente.

A redução nos tempos de atuação dos equipamentos de proteção não foi possível em função da coordenação e seletividade existentes.

A instalação, pelo cliente, de um UPS na empresa não foi realizada em virtude do custo associado.

As medidas tomadas para a solução do caso foram:

- Inspeção e manutenção na região delimitada do alimentador 3, com realização da retirada de pipas da rede e podas de árvores, troca de isoladores, cruzetas, pára-raios, adequação do espaçamento entre os cabos da rede primária de distribuição;
- Foi realizado um programa de conscientização nas escolas, no bairro em questão, sobre os riscos do contato de pipas com a rede elétrica.

Após as manutenções na rede de distribuição o medidor de qualidade de energia ainda permaneceu instalado na cabine do cliente durante mais 30 dias, não sendo registrada nenhuma interrupção referente à Afundamento de Tensão. Estas ações foram aprovadas pela empresa, que considerou sanado este problema.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as medições de qualidade de energia, e os parâmetros determinados pelo ANEEL, o afundamento de tensão foi caracterizado nas instalações do consumidor.

Os dados dos SAG's foram primordiais para o diagnóstico das possíveis causas, indicando que o problema não estava no próprio alimentador do consumidor e sim em outro alimentador que possuía um trecho de rede de distribuição primária em condições inadequadas para o fornecimento e distribuição de energia elétrica.

Dentre as alternativas para correção deste problema, propomos ao cliente:

- Instalação de UPS;
- Ajuste de proteção no consumidor e na concessionária distribuidora de energia;
- Manutenção da rede de distribuição (poda de árvores, retiradas de pipas da rede, conscientização nas escolas da região – programa sobre como “empinar” pipa com segurança).

A instalação do UPS não foi adotada pelo consumidor devido o custo.

As alterações nas proteções também não foram possíveis devido o problema de seletividade dos equipamentos.

A concessionária de energia realizou as devidas manutenções na rede de distribuição em conjunto com o trabalho de conscientização (sobre os cuidados com a rede elétrica), das pessoas moradoras do bairro.

As medidas adotadas pela concessionária de energia foram suficientes para sanar o problema de afundamento de tensão, o que foi constatado com a medição da qualidade de energia posteriormente a estas medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SARAIVA FILHO, Francisco da Costa, Proposta de Recuperador Dinâmico para Correção de Afundamentos de Tensão – São Paulo, 2002. 65p – Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.
- [2] DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill, 1996.
- [3] IEEE P1564 – IEEE Voltage Sag Índices - Draft 2, working documents for IEEE P1564.NJ/EUA: IEEE Inc. 2001.
- [4] IEEE std 1159-1995 – IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, New York.
- [5] ONS. Procedimentos de Rede – Padrões de Desempenho da Rede Básica – Submódulo 2.2. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em 20 julho 2007.
- [6] FILHO, J.M.C; ABREU E VILAS BOAS, F.M. “Medidas Preventivas e Corretivas para Minimizar o Impacto de Voltage Sags”. II – In: I Seminário Brasileiro Sobre a Qualidade da Energia Elétrica. SBQEE, São Lourenço nov. 1997.