

**INSTITUTO DOCTUM DE EDUCAÇÃO E
TECNOLOGIA
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AUTOMATIZAÇÃO DE REGULAÇÃO DE TAPES EM
TRANSFORMADOR PARA MINIMIZAR EFEITOS DE
SUBTENSÃO E SOBRETENSÃO**

**CRISTIANO ANTÔNIO DE OLIVEIRA SILVEIRA
VINÍCIUS FRANCO MAZEGA**

Caratinga - MG

2013

**CRISTIANO ANTÔNIO DE OLIVEIRA SILVEIRA
VINÍCIUS FRANCO MAZEGA**

**AUTOMATIZAÇÃO DE TRANSFORMADOR COM REGULAÇÃO DE TAPES
PARA MINIMIZAR EFEITOS DE SUBTENSÃO E SOBRETENSÃO**

Monografia submetida ao corpo docente da coordenação do programa de graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Doctum de educação e tecnologia como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^ª. Natália Alcântara

Co-orientador: Prof. Vagner Bravos Valadares

Caratinga - MG

2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, por renovar a cada momento nossa força e disposição ao longo dessa jornada. E nos permitir chegar até aqui!

Aos nossos pais, maiores exemplos. Agradecemos pelo apoio e amor incondicional, por cada incentivo e orientação. Por sempre proverem de ensinamentos para a vida, sem que, para isso, exigissem nada em troca.

Aos nossos irmãos, por toda a atenção e carinho prestados em todos os momentos.

Às nossas esposas, por todo amor, companheirismo, dedicação e cumplicidade.

À nossa orientadora Natalia Alcântara, pelo suporte, suas correções e incentivos.

Agradecemos a todos os professores por compartilhar conosco todo o conhecimento. Não somente por nos terem ensinado, mas por nos terem feito aprender.

Nossa terna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

RESUMO

Transformadores são equipamentos aplicados em sistemas elétricos de potência a fim de transformar a energia que é gerada nas usinas e distribuída aos clientes em geral. Dentre os vários tipos de transformadores, temos em especial o transformador com regulagem de tapes, que consiste em uma compensação na tensão de saída do secundário quando há anormalidades de fornecimento de tensão no primário. Em certos períodos do ano, devido a problemas com o fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária de energia que não consegue garantir o perfeito fornecimento de 138kv para a empresa, ocorriam efeitos como a subtensão e sobretensão no secundário dos transformadores causando queima de equipamentos e paradas de produção inesperadas gerando impactos negativos nos resultados da empresa. Após análise de alternativas para a solução dos problemas relatados anteriormente, foi feita a reativação do sistema de comutação manual de tapes do transformador. Porém, havia a necessidade de constante supervisão dos técnicos responsáveis no monitoramento dos níveis de tensão. Para eliminar a necessidade dessa supervisão por parte dos técnicos, foi desenvolvido um sistema de monitoramento automático através de CLP (Controlador Lógico Programável).

Palavras chave: Transformador, CLP, Subtensão, Sobretensão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito do sobreaquecimento no enrolamento dos motores trifásicos.....	17
Figura 2 – Pirâmide de automação.....	27
Figura 3 – Comutador sob carga.....	30
Figura 4 – Chave de comando manual ao lado do transformador.....	31
Figura 5 – Chave comutadora no interior da sala elétrica.....	32
Figura 6 – Medidor de tensão na saída do transformador.....	32
Figura 7 – Transdutor de corrente utilizado.....	34
Figura 8 – CLP Allen Bradley.....	35
Figura 9 – Lógica da automatização.....	36
Figura 10 – Chave seletora modo manual / automático.....	37
Figura 11 – Fluxograma da lógica da automação.....	38
Figura 12 – Indicação da tensão no sistema supervisório.....	40
Figura 13 – Valor do metro do cabo de cobre isolado com 2,5mm ² de diâmetro.....	42
Figura 14 – Valor do transdutor de corrente.....	43
Figura 15 – Valor do contator.....	43
Figura 16 – Valor da chave comutadora seletora.....	44
Figura 17 – Relé regulador de Tensão.....	45
Figura 18 – Proposta comercial de fornecimento do Relé regulador de tensão.....	46
Figura 19 – Valor de um CLP.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das variações de tensão de curta duração.....	15
Tabela 2 – Relatório de paradas entre agosto de 2008 e dezembro de 2010 por motivos de distúrbios causados pela energia elétrica.....	21
Tabela 3 – Variação do preço da tonelada métrica seca do minério de ferro.....	41
Tabela 4 – Total de investimento.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custo das perdas financeiras estimado para a parada de até um minuto.....	14
Gráfico 2 – Representação da elevação de tensão devido a uma falta fase-terra.....	18
Gráfico 3 – Queda de tensão em função da elevação de corrente em um motor de indução de 5CV.....	19
Gráfico 4 – Tensão na saída do Trafo.....	39
Gráfico 5 – Variação do preço da tonelada métrica do minério de ferro.....	40

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica
- CA – Corrente alternada
- CC – Corrente contínua
- CLP – Controlador lógico programável
- EPS – Enterprise Production Systems
- ERP – Enterprise Resource Planning
- FBD – Function Block Diagram (Blocos de função)
- IHM – Interface Homem Máquina
- Kv – Kilovolts (1000 volts)
- IL – Instruction List (Lista de instruções)
- LD – Ladd Diagram (Linguagem Ladder)
- mA – Mili Amperes
- Mbs – Megabits por segundo
- MES – Manufacturing Execution System (Sistema de Execução da Produção)
- PIMS – Plant Information Management System
- p.u – por unidade
- RSLogix 500 – Software utilizado para programar o CLP
- SAG ou DIP – Termos em inglês para definir afundamento de tensão
- SCADA – (Supervisory Control and Data Acquisition)
- SFC – Sequential Function Chart (Linguagem Grafcet)
- SLC 500 – Modelo do CLP
- ST – Structured Text (Texto estruturado)
- V – Volts

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
1 – OS EFEITOS E IMPACTOS DA QUEDA NA QUALIDADE DA ENERGIA.....	12
1.1 – Variação de tensão de curta duração.....	14
1.1.1 – Afundamento de tensão de curta duração.....	15
1.1.2 – Elevação de tensão de curta duração	16
1.1.3 – Variação de longa duração.....	18
1.1.4 – Desequilíbrios de tensão.....	19
2 – METODOLOGIA.....	21
2.1 – Importância da automação.....	26
2.1.1 – Sensores e atuadores – Nível 1.....	27
2.1.2– CLP / SCADA – Nível 2.....	27
2.1.3 – Gerência de informação – Nível 3.....	28
2.1.4 – Sistemas integrados de gestão – Nível 4.....	28
2.2 – O processo da automatização.....	28
2.2.1 – Primeira etapa – Ativação do comutador sob carga.....	28
2.2.2 – Segunda etapa – Eliminar a necessidade de acesso à subestação.....	31
2.2.3 – Terceira etapa – Conversão do valor de tensão em corrente.....	33
2.2.4 – Quarta etapa – Conclusão do controle automático.....	34
3 – ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	39
3.1 – Prejuízos na produção.....	40
3.2 – Resultados Globais.....	41
3.3 – Investimentos para a execução do projeto.....	41
4 – CONCLUSÃO.....	48
5 – REFERÊNCIAS.....	49

INTRODUÇÃO

O homem a cada dia torna-se mais dependente da energia elétrica, por isso, a garantia de um bom fornecimento é indispensável tanto no ambiente residencial quanto industrial. É impossível imaginar o avanço tecnológico da humanidade sem a eletricidade.

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou aprendizado em vários campos da engenharia elétrica, dentre eles podemos citar, transformadores, CLP, sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica e redes de comunicação de dados.

Existem vários tipos de transformadores, um em especial, possui em sua confecção, dispositivos capazes de compensar distúrbios ocorridos na rede de distribuição de energia, são conhecidos como transformadores de comutação sobcarga. Esses transformadores podem ser empregados em qualquer sistema de distribuição de energia, evitando perdas, queimas de equipamentos e falta de energia. Esses problemas, além dos transtornos já citados, causam prejuízo financeiro em qualquer tipo de cliente, seja ele residencial por queimar eletrodomésticos e aparelhos eletroeletrônicos, ou industrial, causando paradas de linhas de produção, queimando equipamentos do processo, etc.

O objetivo principal deste trabalho é expor a automatização da regulação de tapes de um transformador para eliminar os efeitos dos distúrbios causados pela queda na qualidade do fornecimento de energia elétrica em uma planta industrial de uma mineradora localizada na cidade de Matipó - MG.

Por razões de estratégia de mercado e segurança de informações, a empresa onde o trabalho foi realizado não permitiu que seu nome fosse divulgado.

Para atingir tal objetivo, primeiramente foi feita uma avaliação das condições do mecanismo de comutação de tapes no transformador (o dispositivo estava instalado no transformador há 30 anos e nunca havia sido utilizado).

Após a avaliação e ativação do mecanismo de comutação de tapes, fez-se necessário eliminar a necessidade de supervisão direta dos valores de tensão da saída do Trafo por parte do eletricitista. A ideia era passar a supervisão para o CLP, mas, este CLP só interpreta valores analógicos se o sinal em sua entrada for uma corrente elétrica variando de 4 a 20mA e, na saída do medidor de energia, havia apenas valores de tensão. Portanto, houve a necessidade de transformar um valor de tensão em um valor proporcional de corrente elétrica.

Por fim, foi elaborada uma lógica no RSLogix 500, que é o software usado para programar e executar as operações no SLC 500 que é o modelo do CLP utilizado. Esta lógica

deveria comparar os valores de tensão no secundário do Trafo e enviar os comandos para aumentar ou diminuir os tapes do transformador.

Metodologicamente partimos de um estudo qualitativo, com enfoque descritivo, sobre os textos referentes a efeitos provenientes de distúrbios causados pelas falhas no fornecimento de energia elétrica em equipamentos industriais.

No primeiro capítulo serão expostos os impactos negativos causados pela queda na qualidade do fornecimento de energia elétrica, dentro do limite do nosso objetivo procuraremos conceituar sobre a variação de tensão de curta duração, afundamento de tensão de curta duração, elevação de tensão de curta duração, variação de tensão de longa duração e por último será abordado sobre duração do desequilíbrio de tensão.

A organização do segundo capítulo foi direcionada a ampliar nossa compreensão sobre as relações existentes entre os distúrbios citados no primeiro capítulo e as formas de minimizar ou eliminar os impactos causados por eles em um ambiente industrial.

No terceiro capítulo, nos aproximaremos das articulações de formas para apresentar o retorno obtido com o trabalho realizado, e apresentar uma comparação entre o método que foi escolhido para solucionar os problemas e outros meios de chegar a essa solução. Ou seja, é nesse propósito (eliminar impactos negativos dos efeitos de subtensão e sobretensão) tendo como sustentação as ideias dos autores Edson Martinho, Afonso Martignomi consideradas como básicas e Geraldo Carvalho do Nascimento Júnior e Stenvenson como complementares.

1 – OS EFEITOS E IMPACTOS DA QUEDA NA QUALIDADE DA ENERGIA

Devido à enorme demanda de energia elétrica pelo mundo torna-se cada vez mais necessário que o fornecimento dessa energia seja de qualidade. É impossível uma empresa tornar-se competitiva no mercado admitindo que seus processos produtivos sejam afetados por distúrbios causados pela baixa qualidade no fornecimento de energia.

Dentre os principais distúrbios, podemos citar a subtensão ou afundamento de tensão, que “se caracteriza por uma redução do valor eficaz da tensão, por um período de tempo, decorrente de perturbações ocorridas no sistema elétrico” (CARDOSO, 2011, p.1).

O afundamento de tensão pode afetar os equipamentos eletrônicos da seguinte maneira (Bollen e Carvalho 2007):

- Desprogramação de microprocessadores, CLPs;
- Abertura de bobinas de contatos e relés auxiliares e conseqüentemente desligamento de cargas e equipamentos;
- Variação da velocidade de motores;
- Falhas de comutação;
- Atuação de dispositivos de proteção contra sobrecorrente.

Outro distúrbio tão prejudicial quanto a subtensão, é a sobretensão. Esta, se caracteriza pela elevação do valor eficaz da tensão, por um período de tempo.

De acordo com a Resolução Normativa nº 469/2011 da Aneel com vigência desde fevereiro de 2012, a tensão a ser contratada nos pontos de conexão com tensão nominal de operação inferior a 230 Kv deverá situar-se entre 95% (noventa e cinco por cento) e 105% (cento e cinco por cento) da tensão nominal de operação do sistema no ponto de conexão.

Porém, a qualidade da energia é a base para que os equipamentos funcionem, ela depende de uma fonte e, principalmente, dos elementos que participam da sua utilização. Isso quer dizer que cada cliente vai necessitar de um índice de qualidade de energia de uma forma diferente (MARTINHO, 2009, p.13)

E, apesar dos níveis de fornecimento da concessionária fornecedora, estarem de acordo com a Resolução Normativa nº 469/2011, os equipamentos instalados na unidade, não suportam percentuais de subtensão inferiores a 96,5%. A maioria dos equipamentos e dispositivos, principalmente os construídos com tecnologia eletrônica, necessitam de um determinado nível de tensão para funcionar, deixando de funcionar quando a tensão é muito baixa e se danificando quando a tensão é muito alta.

A qualidade da energia, tornou-se uma palavra-chave para concessionárias de energia, os fabricantes e os consumidores, dentro da indústria principalmente os impactos da baixa qualidade no fornecimento são maiores (MARTINHO, 2009, p.18).

Talvez seja mais simples utilizar a palavra "distúrbios" para englobar os fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica. Estes "distúrbios" podem se originar nas concessionárias fornecedoras de energia, ou na rede interna de distribuição (incluindo equipamentos ali instalados) do próprio consumidor (FRANCO, 2004, p2).

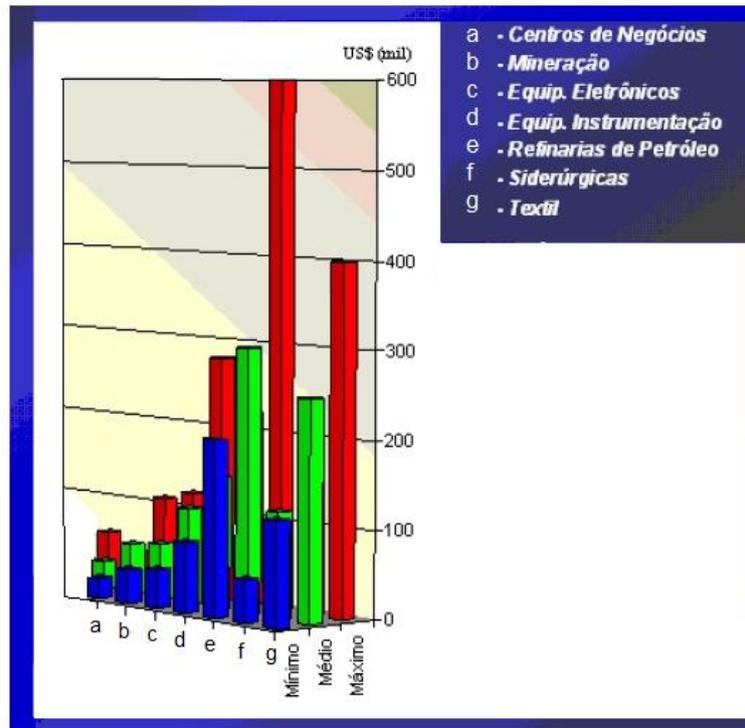
Quando cargas de elevada potência são acionadas, demandam uma energia muito grande da rede, fazendo com que muitas vezes cause uma redução da tensão e quando desligada, devolve essa energia para a rede, normalmente aumentando a tensão por um período de tempo, essa oscilação no valor da tensão eficaz da rede, é conhecida como variação de tensão e se os equipamentos não possuem um bom sistema de proteção, ficam muito vulneráveis à esses efeitos. O acionamento de bancos de capacitores (que são largamente utilizados nas indústrias como forma de corrigir o fator de potência e evitar multas por parte das empresas concessionárias de energia) também podem gerar distúrbios uma vez que, ao serem energizados, exigem da rede uma capacidade maior de corrente para vencer a inércia (um capacitor ao ser energizado, é um curto-circuito) e com isso os dispositivos das redes acabam não conseguindo suprir por completo e geram uma redução significativa da tensão.(MARTINHO, 2009, p.39).

Quando um banco de capacitores é desligado, a energia volta para a rede aumentando momentaneamente sua tensão. Outra causa de afundamentos está associada às faltas de energia ocasionadas nas redes de alimentação, muitas vezes devido estar longe do ponto de utilização podem originar afundamentos de tensão e afetar um determinado equipamento. A variação de tensão pode ocorrer na energização ou desenergização de cargas elevadas que, exigem mais energia quando acionadas, ou devolvem energia quando desligadas, causando grande variação para mais ou para menos (MARTINHO, 2009, p.39-40).

A variação de tensão é um dos distúrbios mais comuns e mais danosos aos consumidores, pois são responsáveis por interromper o funcionamento de equipamentos, causando paradas de produção ou perda de dados, resultando em prejuízos enormes, isso quando não ocorrem queimas de motores, computadores, ou outros equipamentos conectados à rede (MARTINHO, 2009, p.40).

Gráfico 1 – Custo das perdas financeiras estimado para a parada de até um minuto

Custo estimado para interrupção de até 1 minuto



(Fonte: José Carlos Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia – 2007)

Conforme o gráfico 1, estima-se que o custo de 1 minuto de interrupção no processo da mineração estejam entre 50 e 110 mil dólares.

Além dos prejuízos financeiros com as paradas inesperadas, que atrapalham nos processos produtivos, existem os prejuízos causados pelos efeitos dos distúrbios da energia, quando há alguma oscilação no fornecimento, causa queima de equipamentos, implicando em paradas prolongadas e alta demanda de manutenção.

1.1 – Variação de tensão de curta duração

Caracterizada pelo fenômeno de aumento ou redução da tensão em relação à tensão nominal, durante curto período de tempo, ocorre com muita frequência nas instalações elétricas, ocasionada por inserção de grandes cargas na rede, ou banco de capacitores, por exemplo, ou mesmo descargas atmosféricas (MARTINHO, 2009, p.41).

De acordo com os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional Elétrico – PRODIST (ANEEL, 2011), as variações de tensão de curta duração são classificadas de acordo com a tabela 1:

Tabela 1 – Classificação das variações de tensão de curta duração

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u.
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u.
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u.
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u.
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u.
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u.

(Fonte : PRODIST Módulo 8 – Aneel 2011)

1.1.1– Afundamento de tensão de curta duração

É definida como uma redução no valor nominal da tensão, entre 0,1 e 0,9pu (MARTINHO, 2009, p.41).

Pode causar danos em vários tipos de equipamentos aplicados nas indústrias, como o desligamento de inversores e CLPs (que servem para supervisionar e controlar os processos industriais) e desprogramação de computadores.

Um estudo realizado pela EPRI (Electric Power Research Institute), com alguns equipamentos industriais, indica os níveis de sensibilidade quanto ao afundamento de tensão que esses equipamentos apresentam. Vejamos (MARTINHO, 2009, p.41-42):

- Controladores de resfriamento: apresentam sensibilidade a sobtensões quando os valores caem em 20% da tensão nominal.

- Controladores lógicos programáveis (PLC ou CLP): são equipamentos mais robustos, todavia mais lentos podem até suportar interrupções de alguns ciclos. Com o avanço da tecnologia e da velocidade, a tensão de alimentação é muito importante e os equipamentos mais recentes suportam valores de afundamento de curta duração em até 50% da tensão nominal, mas nem todos tem essa baixa sensibilidade.
- Computadores: são os principais dispositivos de controle das organizações. É impossível não encontrar ao menos um computador em uma controlando várias atividades. Preocupada com a situação e também com as variações de tensão, a CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers' Association) definiu uma curva de tolerância que é usada como parâmetro para a construção desses equipamentos com relação à tolerância a variações de tensão, inclusive os afundamentos.

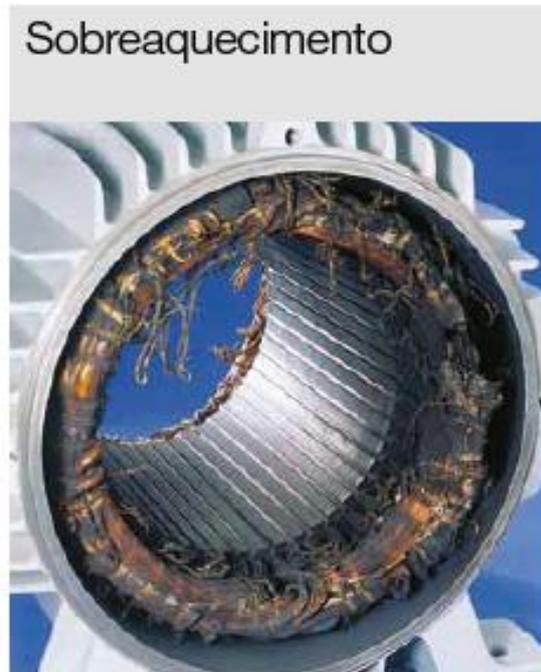
1.1.2 – Elevação de tensão de curta duração

A elevação de tensão de curta duração causa tantos distúrbios, quanto o afundamento de tensão de curta duração, seus efeitos vão desde paradas de linha de produção até queima de equipamentos.

Como ocorre no afundamento de tensão, pode ocorrer uma elevação de tensão. A elevação de tensão de curta duração é caracterizada pelo aumento no nível de tensão eficaz acima do valor nominal entre 1,1 e 1,8pu, com duração de no máximo 1 minuto. Uma elevação de tensão pode ser muito prejudicial aos equipamentos ligados à rede em que ocorre essa elevação, principalmente equipamentos dotados de dispositivos eletrônicos, que possuem uma sensibilidade maior a variações de tensão e no caso podem ser danificados mais facilmente (MARTINHO, 2009, p.49).

Conforme se pode observar na figura 1, o sobreaquecimento pode derreter a resina usada para isolamento das espiras dos motores, causando curto circuito nos enrolamentos das bobinas.

Figura 1 – Efeito do sobreaquecimento no enrolamento dos motores trifásicos



(Fonte : Danos em enrolamentos - Motores trifásicos – Weg - 2012)

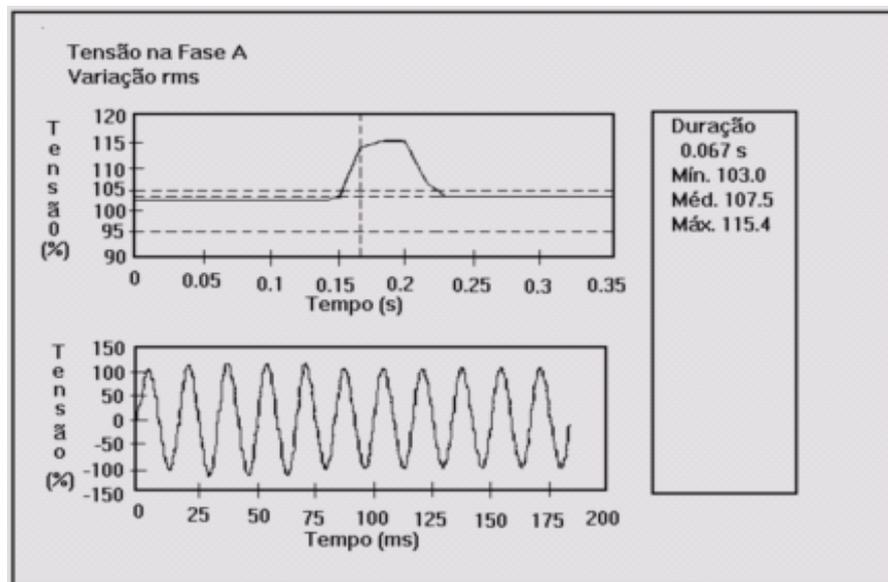
Cada componente eletrônico possui um limite para o valor de alimentação, mesmo possuindo dispositivos para regular e estabilizar esses valores de tensão, que também são construídos com componentes eletrônicos. O aumento da tensão acima dos níveis suportáveis danifica os componentes, fazendo com que os equipamentos parem de funcionar e, conseqüentemente, interrompendo o processo produtivo, seja ele um inversor de frequência ou um computador pessoal. Se a perda for de um equipamento na linha de produção, os prejuízos podem chegar a milhares de reais, o que não é agradável. Mesmo sendo um simples eletrodoméstico, a queima do aparelho faz com que o usuário seja obrigado a gastar seja com o conserto ou aquisição de um novo eletrodoméstico. Portanto, a elevação de tensão, prejudica a vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos e pode causar prejuízos ainda maiores aos usuários (MARTINHO, 2009, p.49).

Uma elevação de tensão de intensidade mesmo que pequena, que seja suportada pelos equipamentos, gera outros distúrbios, como o desperdício de energia. Isso acontece porque a sobretensão causa aquecimento nos equipamentos ligados à rede e o aquecimento, além de danificar o equipamento pode diminuir a sua vida útil consideravelmente, como a energia transformada em calor não é aproveitada, há o desperdício de energia (MARTINHO, 2009, p.49).

As elevações podem ocorrer por falhas nos sistemas de distribuição (pois quando há uma falta de energia, grande quantidade de carga sai da rede simultaneamente), mas também ocorrem quando cargas de potência elevada são desligadas bruscamente, outra forma é quando banco de capacitores que são energizados tornando-se uma fonte de energia momentânea para a rede. Descargas atmosféricas também podem gerar uma elevação de tensão (MARTINHO, 2009, 50).

No gráfico 2, pode-se observar o comportamento da tensão quando há uma elevação em 15% em um intervalo de 0,067s. Quando isso acontece, a corrente deste equipamento diminui e conseqüentemente ocorrerá aquecimento nele.

Gráfico 2 – Representação da elevação de tensão devido a uma falta fase-terra



(Fonte: Distúrbios da energia elétrica – Edson Martinho - 2009)

“Outros problemas que uma elevação de tensão acarreta são relativos à atuação de dispositivos de proteção como fusíveis e disjuntores que, dependendo do ajuste, podem atuar, desenergizando os equipamentos e causando problemas de parada de máquina, por exemplo” (MARTINHO, 2009, p.51).

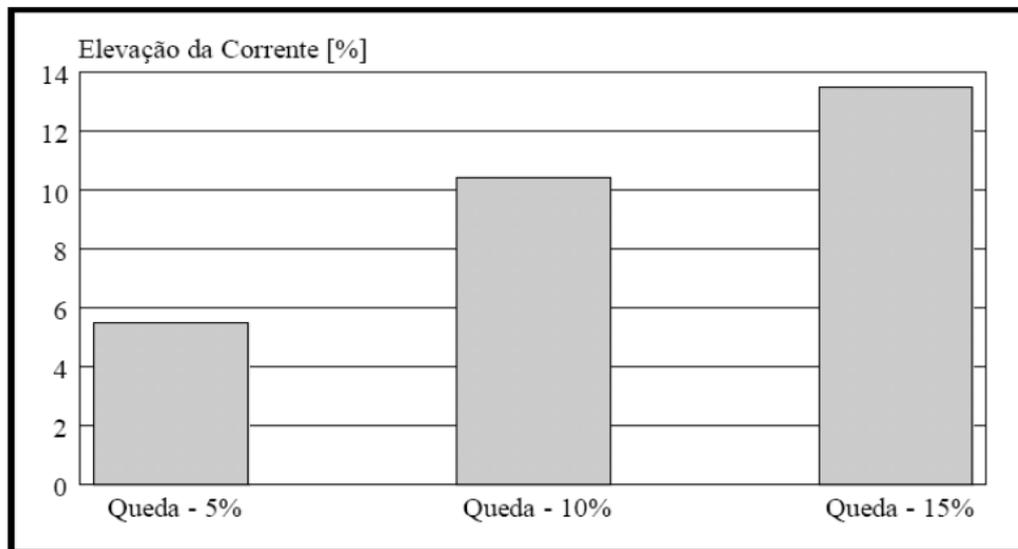
1.1.3 – Variação de longa duração.

A variação de longa duração pode ser elevação ou afundamento, se caracteriza por variações da tensão em relação ao valor nominal que acontecem por períodos superiores a um

minuto. Os termos mais utilizados para as variações são overvoltage ou sobretensão quando o aumento da tensão ultrapassa 10% do valor nominal, sendo típico chegar até 20% e subtensão ou undervoltage, quando a tensão atinge valores inferiores a 90% da nominal (MARTINHO, 2009, p.51).

No gráfico 3, pode-se observar o comportamento da corrente elétrica de um motor de indução trifásico de 5 CV quando ocorre a subtensão. Nota-se que reduzindo o valor da tensão em 15% pode-se elevar a corrente em até 14% do seu valor nominal.

Gráfico 3 – Queda de tensão em função da elevação de corrente em um motor de indução de 5CV



(Fonte: Distúrbios da energia elétrica – Edson Martinho - 2009)

De acordo com o Manual da fabricante de motores e equipamentos eletroeletrônicos WEG para motores elétricos de baixa tensão, a sobretensão ou subtensão na rede de alimentação (permanente ou eventual/periódico), pode causar Sobreaquecimento do enrolamento principal em motores trifásicos.

1.1.4 – Desequilíbrios de tensão

Os desequilíbrios de tensão ocorrem em sistemas trifásicos e podem ser definidos como a variação máxima que é permitida com relação ao valor médio da tensão em cada fase, expressado em percentual. Esses desequilíbrios são originados geralmente nos sistemas de

distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões desbalanceadas. Este problema é pior quando consumidores trifásicos possuem cargas mal distribuídas em seus circuitos internos, impondo correntes desequilibradas no circuito da concessionária (FRANCO, 2004, p.7).

Esses desequilíbrios causam uma queda considerável na qualidade e no fornecimento de energia. Os desequilíbrios de tensão podem apresentar problemas indesejáveis na operação de equipamentos, dentre os quais destacam-se: (FRANCO, 2004,p.7).

Motores são equipamentos largamente utilizados em indústrias para otimizar os processos e mover as linhas de produção, seu funcionamento é baseado no campo eletromagnético criado ao se energizar as espiras que constituem seu núcleo, esses motores são conhecidos como motores de indução e os efeitos de tensões desequilibradas aplicadas a um motor de indução geram um sobreaquecimento da máquina. Como consequência direta desta elevação de temperatura tem-se a redução da vida útil dos motores, seu material isolante pode sofrer uma deterioração mais acentuada na presença de elevadas temperaturas nos enrolamentos (FRANCO, 2004, p.7-8).

Retificadores: Uma ponte retificadora CA/CC, controlada ou não, injeta na rede CA, quando esta opera sob condições nominais. Entretanto, quando o sistema encontra-se desequilibrado, os retificadores passam a gerar o terceiro harmônico e seus múltiplos. A presença destes harmônicos no sistema elétrico possibilita a manifestação de ressonâncias não previstas, causando danos a uma série de equipamentos (FRANCO, 2004, p.8).

Como foi observado, distúrbios nos sistemas de distribuição de energia elétrica não são nada benéficos aos clientes, os clientes industriais são os que mais sofrem as consequências, como a redução da vida útil dos equipamentos e paradas inesperadas nas linhas de produção, causando muito prejuízo.

2 – METODOLOGIA

Para uma empresa tornar-se competitiva e se destacar no mercado, deve eliminar qualquer possibilidade de falha em seu processo produtivo, é inadmissível que um equipamento seja substituído sem que este chegue ao fim de sua vida útil, que é determinada pelo fabricante e pela engenharia.

Para se chegar à causa raiz de uma falha, existem vários métodos de investigação e as grandes empresas possuem uma enorme variedade de recursos para esta investigação como tabelas, gráficos de tendências e histórico de falhas.

A tabela 2 apresenta o histórico de falhas elétricas ocorridas na mineradora em que o trabalho foi desenvolvido, durante o período de agosto de 2008 até dezembro de 2010. Esses dados foram extraídos do MES, que é um dos principais sistemas de gerência de informação muito utilizado em plantas industriais.

Tabela 2 – Relatório de paradas entre agosto de 2008 e dezembro de 2010 por motivos de distúrbios causados pela energia elétrica

RELATÓRIO DE PARADAS E RESTRIÇÕES			
Início da falha	Término da falha	Horas de parada	Motivo da falha
17/08/2008 17:27	17/08/2008 17:39	0,20	Falha térmica motor
19/08/2008 13:25	19/08/2008 17:16	3,85	Subtensão 3.800 v.
20/08/2008 18:15	20/08/2008 18:17	0,03	Falta energia.
20/08/2008 18:26	20/08/2008 18:28	0,03	Falta energia.
27/08/2008 08:31	27/08/2008 08:34	0,05	Falta de energia, baixa tensão
27/08/2008 14:37	27/08/2008 14:39	0,03	Baixa tensão.
27/08/2008 14:54	27/08/2008 14:56	0,03	Baixa tensão.
28/08/2008 14:37	28/08/2008 14:40	0,05	Desarme baixa tensão.
29/08/2008 07:45	29/08/2008 07:48	0,05	Desarme baixa tensão.
29/08/2008 08:00	29/08/2008 08:03	0,05	Desarme baixa tensão.
03/09/2008 10:27	03/09/2008 10:30	0,05	Baixa tensão.
05/09/2008 08:16	05/09/2008 08:22	0,10	Baixa tensão.
05/09/2008 13:36	05/09/2008 13:41	0,08	Baixa tensão.
06/09/2008 07:31	06/09/2008 07:35	0,07	Desarme devido baixa tensão elétrica.
08/09/2008 13:30	08/09/2008 13:33	0,05	Baixa tensão

09/09/2008 07:38	09/09/2008 07:43	0,08	Baixa tensão
12/09/2008 13:00	12/09/2008 14:57	1,95	Falha Transformador
13/09/2008 17:14	13/09/2008 17:17	0,05	Pique Energia.
13/09/2008 18:01	13/09/2008 20:19	2,30	Falha no transformador
26/09/2008 14:34	26/09/2008 14:36	0,03	Baixa tensão energia
26/09/2008 14:54	26/09/2008 14:56	0,03	Baixa tensão energia
20/10/2008 01:38	20/10/2008 01:49	0,18	Pique de energia.
25/10/2008 21:04	25/10/2008 21:24	0,33	Pique Energia
03/11/2008 16:42	03/11/2008 16:48	0,10	Pique de energia.
05/11/2008 23:36	05/11/2008 23:43	0,12	Pique de energia.
06/11/2008 21:34	06/11/2008 21:39	0,08	Pique de energia.
07/11/2008 00:49	07/11/2008 00:50	0,02	Pique de Energia.
08/11/2008 18:08	08/11/2008 18:14	0,10	Pique de energia (Parada Geral)
13/11/2008 10:32	13/11/2008 12:38	2,10	Manutenção no inversor
19/11/2008 11:31	19/11/2008 11:39	0,13	Desarme com problema elétrico
02/12/2008 00:00	02/12/2008 00:01	0,02	Reparo na gaveta da BO207
14/12/2008 07:07	14/12/2008 07:20	0,22	Pique de energia.
17/12/2008 20:51	17/12/2008 20:55	0,07	Pique energia EB5
02/01/2009 23:01	02/01/2009 23:06	0,08	Pique de energia
02/01/2009 23:11	02/01/2009 23:12	0,02	Pique de energia
03/01/2009 21:03	03/01/2009 21:10	0,12	Pique de energia
03/01/2009 21:41	03/01/2009 21:47	0,10	Pique de energia
17/01/2009 18:35	17/01/2009 18:43	0,13	Pique de energia.
06/02/2009 18:01	06/02/2009 18:25	0,40	Falha elétrica
06/02/2009 18:01	06/02/2009 18:04	0,05	Pique de energia
06/02/2009 19:42	06/02/2009 19:45	0,05	Pique de energia.
13/02/2009 14:26	13/02/2009 14:31	0,08	Sobrecarga na tensão na entrada da EB5
24/02/2009 11:05	24/02/2009 11:07	0,03	Pique de energia.
24/02/2009 22:02	24/02/2009 22:10	0,13	Pique de energia.
02/03/2009 04:18	02/03/2009 04:27	0,15	Falha elétrica
07/03/2009 03:32	07/03/2009 03:41	0,15	Pique de energia.
07/03/2009 14:37	07/03/2009 14:46	0,15	Pique de energia.
07/03/2009 15:50	07/03/2009 15:56	0,10	Pique de energia.
13/03/2009 18:10	13/03/2009 18:17	0,12	Pique de Energia.
14/03/2009 19:46	14/03/2009 19:51	0,08	Pique de Energia
14/03/2009 23:41	14/03/2009 23:44	0,05	Pique de Energia.
17/03/2009 16:48	17/03/2009 16:50	0,03	Pique de energia.
17/03/2009 17:32	17/03/2009 17:34	0,03	Pique de energia.
25/03/2009 20:11	25/03/2009 20:15	0,07	Falha elétrica. (Disjuntor Aberto).

29/03/2009 19:07	29/03/2009 19:10	0,05	Pique de energia.
29/03/2009 21:34	29/03/2009 21:37	0,05	Pique de energia.
04/04/2009 15:24	04/04/2009 15:27	0,05	Falta de fase motor principal.
04/04/2009 15:32	04/04/2009 15:40	0,13	Falta de fase motor principal.
07/04/2009 16:48	07/04/2009 16:52	0,07	Falta de energia.
08/04/2009 00:58	08/04/2009 00:59	0,02	Pique de energia (parada não programada)
08/04/2009 00:59	08/04/2009 01:02	0,05	Pique de energia (parada não programada)
16/04/2009 15:40	16/04/2009 15:43	0,05	Falta de energia.
06/07/2009 17:20	06/07/2009 18:13	0,88	Manutenção no motor.
08/07/2009 21:16	08/07/2009 21:17	0,02	Falha no Soft starter.
16/07/2009 17:30	16/07/2009 17:47	0,28	Trocado placa A2 do inversor de frequência
22/07/2009 17:05	22/07/2009 17:19	0,23	Falta de energia.
24/07/2009 11:51	24/07/2009 15:49	3,97	Falta de energia.
28/07/2009 09:45	28/07/2009 11:25	1,67	Falta de energia.
17/08/2009 09:44	17/08/2009 13:54	4,17	Falta de energia.
18/08/2009 08:30	18/08/2009 14:05	5,58	Falta de energia.
28/08/2009 22:36	28/08/2009 22:39	0,05	Falta de energia.
07/10/2009 21:51	07/10/2009 21:52	0,02	Contator do motor colado.
11/10/2009 01:42	11/10/2009 01:49	0,12	Falta de energia.
14/10/2009 23:14	14/10/2009 23:22	0,13	Falta de energia.
16/10/2009 09:21	16/10/2009 09:27	0,10	Desarme em função de falha no inversor de frequência
18/10/2009 17:07	18/10/2009 17:10	0,05	Desarme Linhas transmissão 138 KV.
10/11/2009 22:12	10/11/2009 22:26	0,23	Queda de energia Geral
19/11/2009 14:30	19/11/2009 14:35	0,08	Falha na energia elétrica. Sistema de segurança atuou, desarmando disjuntores.
25/11/2009 15:27	25/11/2009 15:36	0,15	Subtensão
28/11/2009 14:41	28/11/2009 14:51	0,17	Pique de energia elétrica.
28/11/2009 16:41	28/11/2009 16:44	0,05	Pique de energia elétrica.
13/12/2009 21:36	13/12/2009 21:37	0,02	Parada geral pique de energia.
14/12/2009 00:07	14/12/2009 00:11	0,07	Pique de energia.
18/12/2009 09:35	18/12/2009 09:40	0,08	Pique de energia elétrica.
19/01/2010 20:04	19/01/2010 20:11	0,12	Pique de energia elétrica.
21/01/2010 19:42	21/01/2010 19:58	0,27	Falta de energia.
22/01/2010 18:27	22/01/2010 18:31	0,07	Falta de energia.
25/01/2010 15:41	25/01/2010 15:49	0,13	Subtensão.
28/01/2010 13:51	28/01/2010 14:00	0,15	Falha no Soft starter

02/02/2010 07:31	02/02/2010 07:36	0,08	Manutenção elétrica da no transformador.
02/02/2010 11:43	02/02/2010 11:49	0,10	Pique de energia
05/02/2010 13:52	05/02/2010 13:56	0,07	Falha no inversor.
07/02/2010 14:43	07/02/2010 14:44	0,02	Pique de energia.
25/02/2010 18:30	25/02/2010 18:34	0,07	Pique de Energia.
04/03/2010 20:13	04/03/2010 20:31	0,30	Pique de energia.
08/03/2010 15:27	08/03/2010 15:36	0,15	Pique de energia.
12/03/2010 21:27	12/03/2010 21:33	0,10	Pique de energia.
17/03/2010 17:20	17/03/2010 17:46	0,43	Falha Inversor
19/03/2010 16:44	19/03/2010 16:50	0,10	Pique de Energia.
20/03/2010 17:23	20/03/2010 17:24	0,02	Subtensão.
21/03/2010 18:05	21/03/2010 18:08	0,05	Bomba desarmou por baixa tensão elétrica.
21/03/2010 18:22	21/03/2010 18:26	0,07	Falta de energia.
21/03/2010 18:29	21/03/2010 18:48	0,32	Falta de energia.
21/03/2010 20:34	21/03/2010 20:43	0,15	Baixa Tensão causada por Pique de Energia.
25/03/2010 18:58	25/03/2010 20:50	1,87	Falta de energia.
25/03/2010 22:45	25/03/2010 23:20	0,58	Pique de energia
26/03/2010 00:46	26/03/2010 00:56	0,17	Falta de energia.
26/03/2010 11:35	26/03/2010 11:45	0,17	Falha Inversor.
28/03/2010 09:35	28/03/2010 09:42	0,12	Falha no Soft starter
30/03/2010 14:18	30/03/2010 14:21	0,05	Baixa tensão
30/03/2010 15:45	30/03/2010 15:46	0,02	Falta de energia.
17/05/2010 20:54	17/05/2010 22:10	1,27	Queima disjuntor gaveta.
20/05/2010 14:47	20/05/2010 14:48	0,02	Pique de energia.
20/05/2010 14:47	20/05/2010 14:48	0,02	Pique de energia.
30/06/2010 05:25	30/06/2010 05:34	0,15	Desarme devido à baixa tensão.
14/07/2010 11:00	14/07/2010 11:49	0,82	Trocado disjuntor na gaveta.
17/07/2010 18:54	17/07/2010 19:00	0,10	Falha Motor
15/08/2010 12:05	15/08/2010 12:07	0,03	Falta de energia.
25/08/2010 16:21	25/08/2010 16:24	0,05	Subtensão
27/08/2010 12:01	27/08/2010 12:05	0,07	Falta de energia.
08/09/2010 08:46	08/09/2010 08:58	0,20	Sobre tensão
16/09/2010 18:04	16/09/2010 18:10	0,10	Desarme por subtensão elétrica.
20/09/2010 20:27	20/09/2010 20:38	0,18	Falta Energia
11/10/2010 19:04	11/10/2010 19:08	0,07	Erro Soft starter (Sobre Tensão)
25/10/2010 22:33	25/10/2010 22:40	0,12	Desarme devido baixa tensão.
24/11/2010 23:56	24/11/2010 23:59	0,05	Pique Energia
25/11/2010 00:40	25/11/2010 00:43	0,05	Pique Energia

25/11/2010 18:17	25/11/2010 18:25	0,13	Pique energia.
26/11/2010 17:04	26/11/2010 17:10	0,10	Pique de energia.
04/12/2010 16:06	04/12/2010 16:12	0,10	Parada geral (2 piques de energia).
08/12/2010 20:25	08/12/2010 20:27	0,03	Pique de energia.
15/12/2010 19:30	15/12/2010 19:34	0,07	Pique de energia.
15/12/2010 19:37	15/12/2010 19:40	0,05	2º pique de energia.
22/12/2010 09:18	22/12/2010 09:20	0,03	Falta de energia.
22/12/2010 22:04	22/12/2010 23:34	1,50	Desarme em função de subtensão.
23/12/2010 14:52	23/12/2010 14:58	0,10	Pique de energia.
23/12/2010 18:59	23/12/2010 19:08	0,15	Pique de energia
23/12/2010 19:10	23/12/2010 19:12	0,03	Pique de Energia
23/12/2010 19:17	23/12/2010 19:20	0,05	Pique de Energia.
23/12/2010 19:57	23/12/2010 20:02	0,08	Desarme devido à baixa tensão de entrada.
26/12/2010 01:54	26/12/2010 01:57	0,05	Baixa Tensão.
26/12/2010 03:56	26/12/2010 03:59	0,05	Baixa Tensão.
26/12/2010 04:07	26/12/2010 04:13	0,10	Pique de Energia.
27/12/2010 19:49	27/12/2010 19:52	0,05	Subtensão na linha de energia.
28/12/2010 14:21	28/12/2010 14:24	0,05	Subtensão
TOTAL DE HORAS		45,11	

(Fonte: Dados obtidos no MES da unidade mineradora onde o trabalho foi realizado)

Apenas em relação a interrupções no processo produtivo, a unidade ficou parada por mais de 45 horas entre agosto de 2008 e dezembro de 2010. Essas paradas impactam diretamente nos resultados da empresa, uma vez que nenhuma dessas paradas foi programada. Isso sem contar com as despesas em aquisição de fusíveis, contadores, motores e inversores de frequência que queimam com mais facilidade devido esses distúrbios causados pela queda na qualidade do fornecimento da energia elétrica.

“Há várias maneiras de identificar os problemas de qualidade de energia. O primeiro deles e o mais comum na cultura brasileira é a ocorrência de problemas na instalação que causam prejuízos. Por exemplo uma parada de máquina que causa prejuízo financeiro” (MARTINHO, 2009, p.97).

2.1 – Automatização dos tapes do transformador

Seja na indústria ou em aplicações residenciais, a necessidade da automação se faz presente, com o objetivo de melhorar a eficiência de máquinas e de instalações elétricas, bem como buscar maior comodidade aos clientes (Schneider Electric, 2009, p.482).

“Através dos atributos da automação industrial, homologados por normas nacionais e internacionais, é possível empregar produtos de fácil disponibilidade no mercado para resolver as necessidades de controle e automação que se apresentam” (Schneider Electric, 2009, p.482).

O objetivo da automação é aperfeiçoar os processos produtivos e minimizar a possibilidade de falhas, ela veio para facilitar a vida do homem, onde poucas máquinas executam com maior perfeição atividades que demandariam grande número de pessoas.

“Num processo de automação mais evoluído, o homem é substituído por uma máquina (computador) dotada de inteligência artificial (software) que além de adquirir dados on-line, envia sinais para controlar os processos” (FILHO, 2007, p. 634).

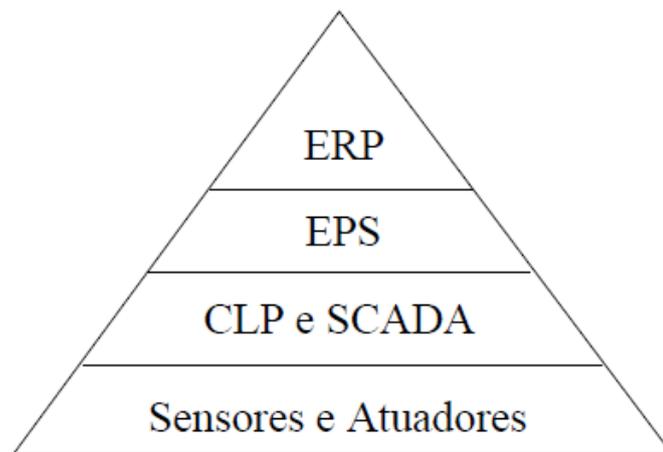
Para melhor representar uma arquitetura de um sistema de automação, pode-se dividi-lo em níveis, conforme mostra a figura 2. No primeiro nível, encontram-se os sensores e atuadores, como sensores de nível, pressão, temperatura, de fim de curso, válvulas, inversores de frequência, etc. No nível seguinte, encontram-se os controladores lógicos programáveis (CLPs) e os sistemas supervisórios - SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) que se comunicam com os CLPs (Daneels e Salter, 1999, p.339).

Até o início da década de 1990, os sistemas de controle eram formados por ilhas de automação, onde cada setor controlava o seu parque sem possibilitar a integração das informações. Com a integração dos dados da produção, desde o chão-de-fábrica até o produto final, pode-se subir mais um nível na pirâmide da automação, onde se encontram os sistemas de gerência de informação de processos, que são englobados com o termo geral de Enterprise Production Systems (EPS), onde estão incluídos os Plant Information Management System (PIMS) e os Manufacturing Execution Systems (MES). No nível mais alto da pirâmide encontram-se os sistemas corporativos de gestão da planta, Enterprise Resource Planning (ERP), responsáveis pela transformação desses dados em informações de negócio. A integração negócio-manufatura é um processo chave para as indústrias, para tal integração é necessário uma eficiente troca de informações entre os processos de negócio e os sistemas de

manufatura, de modo a criar e manter vantagens competitivas no mercado (SOUZA, 2005, p.1-2).

A figura 2 apresenta a pirâmide de automação em processos industriais, em qualquer segmento, esta pirâmide possui a mesma estrutura.

Figura 2 – Pirâmide de automação



(Fonte: SOUZA, A. J. Um estudo de caso na produção de petróleo e gás. 2005)

2.1.1 – Sensores e Atuadores - Nível 1

Na base da pirâmide encontramos o nível 1, o mais baixo nível de automação. Aqui os dados são coletados e transmitidos para o nível 2. São bons exemplos dos componentes deste degrau os sensores de nível, sensores de temperatura, sensores de velocidade, válvulas, inversores de frequências entre outros (GUEDES, 2009, p.28-29).

2.1.2 – CLP / SCADA – Nível 2

É o nível dos CLP's e os sistemas SCADA, onde são localizados os procedimentos de controle. Aqui, as redes possuem alta velocidade de transmissão na ordem de mega bits por segundo (Mbs) e com a função de coleta dos dados gerados em campo. Estes dados são tratados e armazenados em servidores (GUEDES, 2009, p.29).

Todo acompanhamento do processo produtivo pode ser realizado baseado nas informações obtidas nesta camada. Dados fornecidos neste nível são importantes para

monitoramento das variáveis do processo e geração de alertas quando algum parâmetro está fora do especificado. Desta maneira são facilmente detectadas as origens de problemas, fazendo com que a resposta a esse problema seja rápida e eficiente (GUEDES, 2009, p.29).

2.1.3 – Gerência de informação – Nível 3

Este é o nível de gerência de informação, onde estão instalados os Sistemas de Gerência de Informação de Processos da empresa. Estes sistemas são normalmente englobados pelo termo geral: Enterprise Production Systems (EPS) tem o objetivo de gerenciar todas as etapas de produção (GUEDES, 2009, p.29).

2.1.4 – Sistemas integrados de gestão – Nível 4

Dentre as informações integradas por estes sistemas estão as de aspecto funcional da empresa como finanças, contabilidade, recursos humanos, fabricação, marketing, vendas, compras, manutenção, entre outros (GUEDES, 2009, p.31).

2.2 – O processo da automação

Devido os impactos gerados pelos distúrbios da energia elétrica, fez-se necessário tomar medidas a fim de mitigar os problemas.

O processo desde a identificação do problema até sua resolução foi dividido em 4 etapas.

2.2.1 – Primeira etapa – Ativação do comutador sob carga

Dentre as possibilidades, optou-se por ativar o sistema de regulação de tensão através de um comutador de tapes sob carga manual do transformador na subestação elétrica da empresa. O transformador possuía este sistema há 30 anos, mas, nunca havia sido testado.

É possível realizar a comutação de tapes com o transformador estando energizado, neste caso, o transformador é denominado transformador com mudança de derivação sob

carga. A mudança da derivação é automática e operada por motores que regulam a comutação de tapes para manter a tensão no nível preestabelecido (STEVENSON, 1986, p. 228).

Após a realização de uma manutenção preventiva neste sistema, foram realizados testes nos acionamentos e comutadores, o sistema estava operando perfeitamente.

Ao término da manutenção preventiva no Trafo foi ligado à rede, com a ativação do comutador sob carga, os problemas de qualidade de energia estavam praticamente solucionados.

“Os reguladores de tensão com comando manual são autotransformadores com várias entradas, que permitem ajustar o número de espiras do circuito primário à tensão de alimentação” (MARTIGNOMI, 1991, p.167).

“O ajuste do número das espiras primárias é feito por meio de uma chave rotativa” (MARTIGNOMI, 1991, p.167).

Esses reguladores são dispositivos que têm o objetivo de manter a tensão de alimentação de um equipamento dentro de um limite de tolerância. A tecnologia empregada na construção desses dispositivos é pelo uso de transformadores ferorrressonantes, que usam o princípio da saturação para regular a tensão, e os transformadores com saída controlada. Esse dispositivo é usado para o controle de tensões em sistemas que apresentam variações de tensão de curta ou longa duração, como SAG, SWELL, sobretensão ou subtensão” (MARTINHO, 2009, p.109).

Na figura 3, pode-se observar o mecanismo responsável pela comutação dos tapes, é ele que recebe o comando e realiza o ajuste dos tapes para manter a tensão de saída do secundário em níveis aceitáveis para a operação.

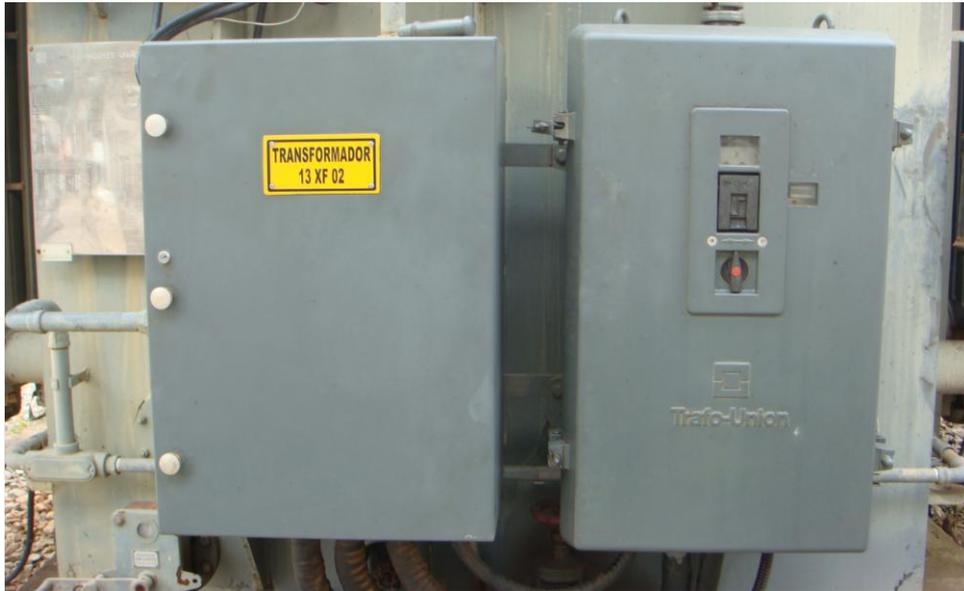
Figura 3 – Comutador sob carga



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

Porém, por possuir comando manual, havia a necessidade de um profissional estar constantemente monitorando os níveis de tensão no secundário do transformador e, quando os valores de tensão estavam fora da margem aceitável pelos equipamentos, era necessário acionar o comutador através da chave localizada no painel à direita, ao lado do transformador conforme observado na figura 4.

Figura 4 – Chave de comando manual ao lado do transformador



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

2.2.2 – Segunda etapa – Eliminar a necessidade de acesso à subestação

Ao comutar a chave ao lado do transformador, o profissional estava sujeito aos riscos inerentes de se acessar uma subestação elétrica, como o arco voltaico ou choque elétrico por exemplo. Para preservar sua segurança, foi feita a transferência dessa chave para o interior da sala elétrica, esta foi a segunda etapa do projeto da automação dos tapes.

Foram lançados cabos elétricos da subestação até a sala elétrica, e instalado uma chave comutadora em um painel próximo ao medidor de tensão do secundário do transformador.

Esta mudança de local da chave comutadora trouxe vários benefícios, pois, eliminava a necessidade do profissional acessar a subestação e pelo fato do medidor de tensão estar mais próximo da chave comutadora, uma vez que na subestação não há um medidor. A chave comutadora instalada dentro da sala elétrica e ao lado do medidor pode ser observada na figura 5.

Figura 5 – Chave comutadora no interior da sala elétrica



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

O medidor de tensão apresenta os valores de tensão entre fases e ainda apresenta os valores como a corrente de cada fase conforme é observado na figura 6.

Figura 6 – Medidor de tensão na saída do transformador



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

Porém, como os distúrbios da energia elétrica podem ser de curta duração, como o SAG ou SWELL, havia momentos em que ainda ocorriam interrupções no processo e, às vezes, até queima de equipamentos, pois para mitigar esses distúrbios era necessário um monitoramento 100% do tempo e, a realidade da empresa não permite que um funcionário ficasse responsável por esse monitoramento dessa maneira.

A partir dessa nova necessidade, foi decidido por automatizar o processo de regulação dos tapes do transformador através de um CLP.

“Os CLPs podem substituir com grandes vantagens os tradicionais comandos de máquinas e elementos, tais como botoeiras, chaves comutadoras, contadores e relés” (FILHO, 2007, p.638).

2.2.3 – Terceira etapa – Conversão do valor de tensão em corrente elétrica

O valor de tensão do secundário exibido através do medidor de tensão era obtido através de um transformador de 4.160v/120 v que tinha a finalidade apenas de transformar a energia em um valor que pudesse ser interpretado pelo medidor.

O CLP que havia na sala elétrica e que gerenciava todas as ações dos equipamentos da planta, interpretava apenas sinais de corrente de 4 a 20mA.

A terceira etapa da automatização da regulação dos tapes, consistia em transformar este valor de tensão recebido pelo medidor em um valor de corrente que pudesse ser interpretado pelo CLP.

Para essa conversão, foi utilizado um transdutor de corrente, “os transdutores fornecem um sinal analógico em corrente contínua proporcional à função de entrada que está sendo medida” (FILHO, 2007, p.634)

O transdutor de corrente que foi utilizado para a conversão é observado na figura 7.

Figura 7 – Transdutor de corrente utilizado



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

Após a conversão, era necessário criar uma lógica para que o CLP pudesse interpretar, monitorar e intervir na comutação de tapes do transformador quando necessário.

2.2.4 – Quarta etapa – Conclusão do controle automático

“Também chamado de linguagem industrial, os CLPs de geração anterior se caracterizam por serem gerenciados através de uma linguagem de operação cíclica, sem controle de tempo para execução de tarefas” (FILHO, 2007, p.642).

“Devido às diferenças de tecnologia de fabricantes e as peculiaridades dos processos industriais, a IEC 1131 estabelece como padrão pelo menos cinco linguagens de programação, ou seja:” (FILHO, 2007, p.642)

- Structured Text (ST);
- Ladd Diagram (LD);
- Instruction List (LD)
- Sequential Function Chart (SFC);
- Function Block Diagram (FBD)

A linguagem de programação utilizada neste caso foi a linguagem Ladder, esta, é a linguagem de programação mais utilizada na indústria e, segundo (GUEDES, 2009, p.21-22), os principais motivos que levam a essa maior utilização são:

- Apresentar grande facilidade de programação,
- Ser uma linguagem gráfica, baseada em desenhos,
- Ser tradicionalmente conhecidos em projetos de comando de quadros elétricos.

Por se assemelhar com um próprio esquema elétrico, a linguagem ladder é de fácil entendimento e compreensão, até para quem não possui muito conhecimento na área.

O software utilizado para a confecção da lógica do CLP é RSLogix 500 para programar o CLP SLC 500 fabricado pela Allen Bradley conforme pode ser observado na figura 8.

Figura 8 – CLP Allen Bradley

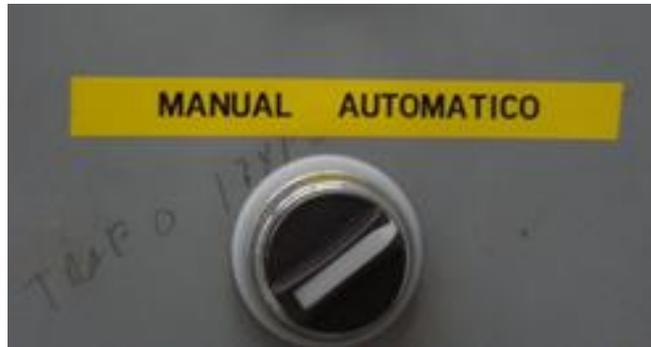


(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

A figura 9 apresenta a lógica desenvolvida no software RSLogix 500 que foi desenvolvida para operar o comutador de tapes do transformador.

função selecionar se o controle dos tapes será realizado através de chave manual ou através do CLP automaticamente.

Figura 10 – Chave seletora modo manual / automático



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

Nas linhas 0036 e 0037, existem dois blocos comparadores, estes tem a função de interpretar os valores de tensão e acionar a saída necessária para aumentar ou diminuir os tapes, de acordo com a necessidade. O bloco da linha 0036 analisa se a tensão está baixa, se ela estiver entre 3000v e 4100v, este alimenta uma saída que possui a função de diminuir o tape (elevando a tensão). O bloco da linha 0037 analisa se a tensão está alta, se ela estiver entre 4200v e 6000v, este alimenta uma saída que possui a função de aumentar o tape (diminuindo a tensão).

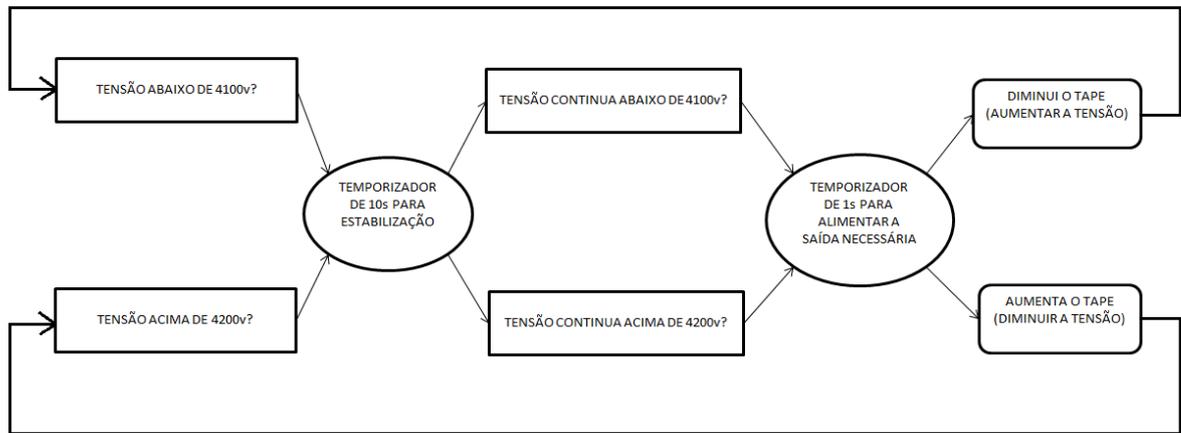
Nas linhas 0038 e 0041, existem dois blocos contadores de tempo, a função do temporizador da linha 0041 depende dos blocos comparadores das linhas 0036 e 0037, quando estes indicam se há a necessidade de se alterar um tape, o temporizador conta 10 segundos, passado esse tempo, se ainda houver a necessidade de se comutar um tape, entra em ação o bloco da linha 0038 que, está programado para contar 1 segundo, este é o tempo que o CLP alimenta as saídas das linhas 0039 e 0040.

Se a saída da linha 0039 for alimentada, significa que a tensão está baixa e deve ser aumentada e, se a saída da linha 0040 for alimentada, significa que a tensão está alta e deve ser abaixada.

Feito isso, novamente o bloco da linha 0041 conta 10 segundos e, a lógica se repete durante todo o tempo.

O fluxograma apresentado na figura 11 simplifica a lógica da automatização do comutador.

Figura 11 – Fluxograma da lógica da automação



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

Através do fluxograma, pode se concluir que a lógica obrigatoriamente deve ser redundante. O monitoramento deve ser constante e, a cada operação realizada pelo CLP, o programa deve analisar se o resultado foi o desejado, caso contrário, novas operações deverão ser realizadas, ou ainda, uma mensagem de erro deverá aparecer na tela do sistema supervisório do operador.

Todo processo de automação segue um princípio comum em que o gerenciador do processo é realimentado de informações resultantes da conclusão de cada tarefa que é realizada sempre em ciclos, de forma a redimensionar ou reorientar a etapa seguinte de acordo com o resultado obtido na etapa anterior, com o objetivo de alcançar o resultado final mais próximo possível daquele a que o dispositivo foi instruído através de informações codificadas. (FILHO, 2007, p.633).

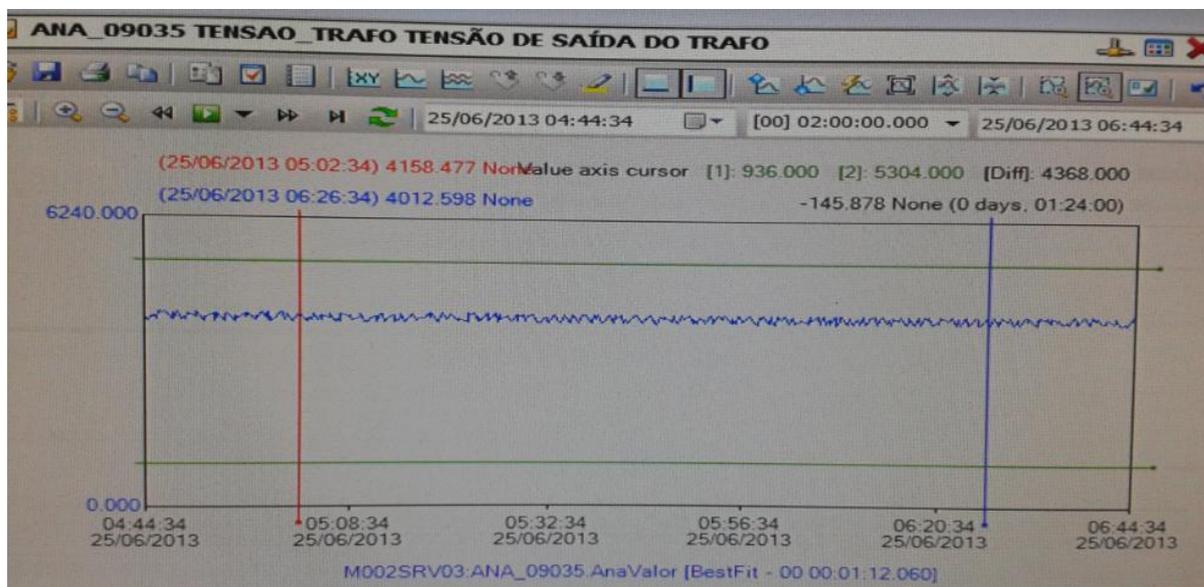
3 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

A base para o sucesso de um projeto que seja desenvolvido em um ambiente industrial deve estar alinhado às políticas da empresa, projetos que trazem retorno financeiro, sempre são vistos com bons olhos.

O projeto que foi desenvolvido, não apenas trouxe retorno financeiro, mas, transformou a operação de comutação de tapes, em uma atividade mais segura, devido ter eliminado a necessidade de acesso à subestação elétrica para a realização da atividade, além disso, não há mais a necessidade de supervisão de valores de tensão, uma vez que esta supervisão está sendo feita pelo CLP.

O gráfico 4 foi obtido através do sistema supervisório da empresa em que o trabalho foi desenvolvido, através dele, é possível extrair várias informações e analisar a tendência de vários tipos de variáveis que são monitoradas no processo produtivo, como temperatura de alguns equipamentos, pressão de fluidos e a própria tensão subestações.

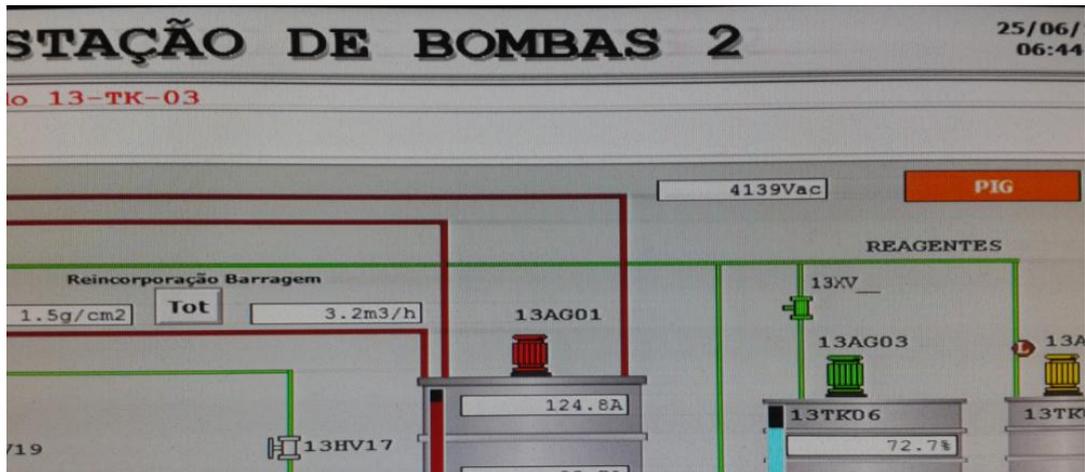
Gráfico 4 – Tensão na saída do Trafo



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

A figura 12 apresenta a indicação dos valores de tensão na tela do sistema supervisório, assim, os operadores podem monitorar constantemente os valores e, se ocorrer alguma falha, esta é identificada imediatamente, diminuindo o tempo de ação para solucionar os problemas.

Figura 12 – Indicação da tensão no sistema supervisorío



(Fonte: Empresa onde o trabalho foi desenvolvido)

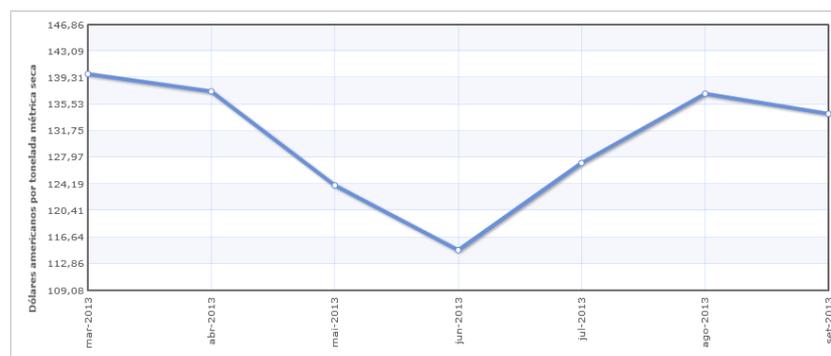
O sistema supervisorío apresenta através de gráfico, os valores de tensão na saída do Trafo e, ainda apresenta na tela uma janela com o valor da tensão.

O gráfico é importante para analisar uma falha, todo o histórico é armazenado no sistema caso seja necessário analisar datas anteriores.

3.1 – Prejuízos na produção

No gráfico 5 pode-se observar a variação do preço da tonelada métrica do minério de ferro, apesar da variação, mantêm-se na média de U\$130,00, portanto, para uma empresa que produz cerca de 65.000 toneladas de minério por dia, qualquer minuto de parada inesperada pode comprometer os resultados.

Gráfico 5 – Variação do preço da tonelada métrica do minério de ferro



(Fonte: Index Mundi)

A tabela 3 apresenta os valores e percentuais da variação dos valores da tonelada métrica seca de minério de ferro nos últimos 7 meses.

Tabela 3 – Variação do preço da tonelada métrica seca do minério de ferro

Mês	Preço	Taxa de variação
mar 2013	139,87	-
abr 2013	137,39	-1,77%
mai 2013	124,01	-9,74%
jun 2013	114,82	-7,41%
jul 2013	127,19	10,77%
ago 2013	137,06	7,76%
set 2013	134,19	-2,09%

(Fonte: Index Mundi)

Com base na tabela 2 extraída do MES apresentada no capítulo 1 e na tabela 3, os prejuízos causados pelos distúrbios da energia elétrica, na unidade, entre agosto de 2008 e dezembro de 2010, ficaram acima de R\$11.500.000,00, pois, a produção é de 890 toneladas por hora e o valor médio da tonelada de minério de ferro está em torno de U\$130,00. Isso sem contar com os prejuízos como a queima de fusíveis, motores e inversores de frequência.

3.2 – Resultados Globais

O projeto foi implementado em maio de 2013, os resultados nos 3 meses posteriores à implementação do projeto foram muito satisfatórios, os problemas relacionados aos distúrbios da energia elétrica, foram eliminados, restando apenas as interrupções causadas por causas externas, as quais não podem ser solucionadas através deste projeto como piques de energia que podem ser causados por efeitos climáticos, problemas operacionais nas concessionárias, etc.

3.3 – Investimentos para a execução do projeto

Empresas de grande porte utilizam várias ferramentas de gestão de processos e de custos, o software utilizado no nível 4 da pirâmide neste caso, é o SAP. “A sigla SAP significa Sistema, Aplicação, e Produtos em Processamento de dados” (SAP, 2007, p. 3).

SAP é uma empresa alemã com escritório em diversos países. Ela desenvolve e comercializa o software SAP R/3 que é utilizado pela empresa em que o trabalho foi desenvolvido e que está implementado em algumas das principais empresas do mundo (SAP, 2007, p. 3).

“O sistema atende empresas dos mais diversos ramos de negócio: Mineração (Ex. BHPB, Samarco), Siderurgia (Ex. Usiminas, Mittal, etc.), Celulose (Ex. Aracruz, Votorantim Celulose), Serviços (Ex. Bradesco) e outros” (SAP, 2007, p. 3).

“O foco principal do sistema é a integração. Logo, podemos definir o SAP como um sistema integrado de gestão. Ele integra diversas áreas como produção, finanças, suprimentos, manutenção e vendas em um sistema único” (SAP, 2007, p. 3).

Para a transferência da chave comutadora de tapes da subestação elétrica para a sala elétrica, foi necessário:

- 600m de cabo de cobre isolado com diâmetro de 2,5mm²;
- 1 transdutor de corrente para transformar o valor de tensão em corrente elétrica;
- 2 contadores com 2NA e 2 NF;
- 1 Chave comutadora seletora.

A chave seletora que foi instalada na sala elétrica fica a 200m da subestação elétrica, foi necessário lançar 3 condutores de cobre de 2,5mm², de acordo com o SAP, cada metro custa R\$ 1,94, como pode ser observado na figura 13, portanto, para o lançamento de cabos foi gasto R\$ 1.164,00.

Figura 13 – Valor do metro do cabo de cobre isolado com 2,5mm² de diâmetro

Operação empresarial	Objeto	Unidade	Modif.qtd.	Σ Mod.valor	Preço mov.	Proj.	Estq.total	Σ Val.total	Prç.(novo)	Nº doc.	Oper
Abertura de período		M	0	0,00	0,00	1	0	0,00	1,94		
Abertura de período				0,00				0,00			
				0,00				0,00			

(Fonte: SAP)

Foi utilizado 1 transdutor para converter o sinal de tensão em corrente para que o CLP pudesse interpretar o sinal e fazer o controle, o valor do transdutor é R\$ 366,33 conforme é visto na figura 14.

Figura 14 – Valor do transdutor de corrente

Análise do preço do material

Material: 332239 TRANSDUTOR;0-5A;4-20MA;127VCA
 Centro: MGER Planta Germano
 Tipo de avaliação:
 Estoque p/ordem cliente/projeto
 Período/ano: 10 2013 Status período:
 Moeda/avaliação: Moeda da empresa BRL
 Visão: Histórico de preços

Operação empresarial	Obj...	Unida...	Modif.q...	Σ Mod.valor	Preço m...	Proj.	Estq.total	Σ Val.total	Prç.(novo)	Nº doc.	Oper
Abertura de período		UND	0,000	0,00	0,00	1	0,000	0,00	366,33		
Abertura de período				0,00				0,00			
				0,00				0,00			

(Fonte: SAP)

Foram utilizados 2 contadores, um para aumentar o tape e outro para diminuir o tape, cada contador custa R\$ 94,33. Portanto, foi gasto em contadores R\$ 188,86 conforme pode ser visto na figura 15.

Figura 15 – Valor do contador

Análise do preço do material

Material: 302771 CONTADOR 3P AC-3 9A 2NA+2NF 110VCA
 Centro: MGER Planta Germano
 Tipo de avaliação:
 Estoque p/ordem cliente/projeto
 Período/ano: 10 2013 Status período:
 Moeda/avaliação: Moeda da empresa BRL
 Visão: Histórico de preços

Operação empresarial	Obj...	Unida...	Modif.q...	Σ Mod.valor	Preço m...	Proj.	Estq.total	Σ Val.total	Prç.(novo)	Nº doc.	Oper
Abertura de período		UND	0,000	0,00	0,00	1	10,000	943,31	94,33		
Abertura de período				0,00				943,...			
				0,00				94,...			

(Fonte: SAP)

Foi utilizada uma chave comutadora seletora, para alterar o comando de manual para automático, esta chave custou R\$ 19,40 como é visto na figura 16.

Figura 16 – Valor da chave comutadora seletora

Operação empresarial	Obj...	Unida...	Modif.q...	Σ Mod.valor	Preço m...	Proj.	Estq.total	Σ Val.total	Prç.(novo)	Nº doc.	Oper
Abertura de período		UND	0,000	0,00	0,00	1	0,000	0,00	19,40		
Abertura de período				0,00				0,00			
				0,00				0,00			

(Fonte: SAP)

A tabela 4 apresenta a quantidade utilizada de cada item e valor gasto individualmente e no total, que foi investido R\$ 1.738,39.

Tabela 4 – Total de investimento

Quantidade	Descrição do Material	Valor unitário	Valor total
600m	Cabo de cobre 2,5mm ²	R\$ 1,94	R\$ 1.164,00
1	Transdutor de corrente	R\$ 366,33	R\$ 366,33
2	Contator 2 NA / 2NF	R\$ 94,33	R\$ 188,86
1	Chave comutadora seletora	R\$ 19,40	R\$ 19,40
TOTAL			R\$ 1.738,59

(Fonte: SAP)

Para solucionar os problemas de queda na qualidade do fornecimento de energia elétrica, já estão disponíveis no mercado outras soluções, como a instalação de um relé regulador de tensão conforme pode ser observado na figura 17.

Figura 17 – Relé regulador de Tensão



(Fonte: Catálogo Tretech Sistemas Digitais)

Esse e outros tipos de relés executam as mesmas funções do CLP neste trabalho, porém, neste caso, uma das premissas do trabalho era apresentar uma solução eficiente e com um melhor custo benefício.

Uma vez que o CLP já estava instalado na unidade, não era necessário adquirir outro equipamento para o monitoramento.

A figura 18 apresenta uma proposta comercial de fornecimento de um relé regulador de tensão.

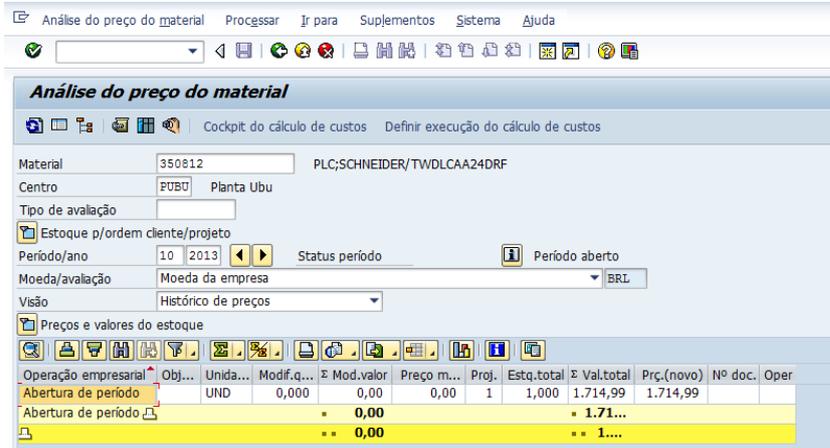
Figura 18 – Proposta comercial de fornecimento do Relé regulador de tensão

	TREETECH SISTEMAS DIGITAIS LTDA ENDEREÇO: Rua José Alvim, 100 CIDADE: Atibaia CEP: 12940-800 BAIRRO: Centro UF: SP CNPJ: 74.211.970/0002-53 INSC. EST: 190.159.742.110 FONE: +55 11 44135787 FAX: +55 11 44135991 CONTATO: Rafael Furquim de Souza E-MAIL: rafael.furquim@treetech.com.br		PROPOSTA COMERCIAL No 20931		PÁG.: 01 DATA DE EMISSÃO: 02/07/2013								
	CLIENTE: SAMARCO MINERACAO S/A ENDEREÇO: MINA DO GERMANO, SN CIDADE: MARIANA CEP: 35420-000 INSCR. EST: 400115470.01-18 FONE: 31 3559 5072 CONTATO: José Ferreira de Moraes EMAIL: jfmorais@samarco.com		BAIRRO: CENTRO UF: MG CNPJ: 16.628.281/0003-23 FAX: 31 3559-5167										
ENDEREÇO ENTREGA: MINA DO GERMANO, SN CEP: 35420000 MARIANA-MG - BRASIL						REVISÃO: 000							
ENTREGA: FOB		PRAZO DE TRANSPORTE ESTIMADO: 4											
Item	Código	Descrição	NCM	Un	Qtde	Unit. Liq.	%Desc	Unit. Bru	% IPI	% ICMS	Valor Total	Entrega (Dias)	Garantia (meses)
001	AVR	RELÉ REGULADOR DE TENSÃO	9032.89.11	un	1,00	5.197,63	0,00	5.906,40	0,00	12,00	6.759,51	31	24
CONDIÇÕES ESPECIAIS											TOTAL DAS MERCADORIAS: 6.759,51		
CONDIÇÕES DE PAGAMENTO: ANTECIPADO											IPI: 0,00		
VALIDADE DA PROPOSTA: 16/07/2013											ICMS PRÓPRIO: 708,77		
OBSERVAÇÕES:											ICMS ST: 853,11		
											IRRF: 0,00		
											ISS: 0,00		
											PIS: 0,00		
											COFINS: 0,00		
											CSLL: 0,00		
											INSS: 0,00		
											FRETE: 0,00		
											TOTAL GERAL: 6.759,51		

(Fonte: Alunos)

A figura 19 apresenta o valor de um CLP que atenderia perfeitamente a necessidade do monitoramento dos valores de tensão e faria a regulação de tensão no comutador sob carga do Trafo.

Figura 19 – Valor de um CLP



Operação empresarial	Obj...	Unida...	Modif.q...	± Mod.valor	Preço m...	Proj.	Estq.total	± Val.total	Prç.(novo)	Nº doc.	Oper
Abertura de período		UND	0,000	0,00	0,00	1	1,000	1.714,99	1.714,99		
				=	0,00			=	1.71...		
				**	0,00			**	1....		

(Fonte : SAP)

O projeto trouxe vários ganhos à empresa, financeiramente o retorno foi satisfatório e ainda obteve ganhos em segurança e aproveitamento de mão de obra.

4 – CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma solução para os danos e prejuízos causados pela queda na qualidade do fornecimento da energia elétrica em uma indústria no setor de mineração. Além dessa solução, foi realizada um estudo de viabilidade de implementação de outro equipamento existente no mercado capaz de realizar essa automatização.

O cenário atual não permite falhas nos processos, principalmente como as que ocorriam na empresa, pois além de impactar no ritmo de produção, gerava altos custos de manutenção corretiva e com a aquisição de peças e equipamentos para a reposição.

O CLP é um equipamento imprescindível em processos industriais, seja para controlar uma linha de produção ou no caso da unidade mineradora em que o trabalho foi desenvolvido, para monitorar as variáveis do processo.

Como na unidade já havia o CLP, não era viável a aquisição de outro equipamento para fazer o monitoramento.

No mercado, há diversos tipos de CLP, para monitorar apenas essa variável, é possível adquirir um CLP de programação simples e com poucas entradas e saídas, pois, para esse monitoramento são necessárias apenas 1 entrada e 2 saídas.

Portanto, mesmo adquirindo-se um CLP para fazer esse monitoramento, ainda pode ser mais viável do que a instalação de um relé regulador de tensão, além das vantagens já descritas, com o CLP há a oportunidade de realizar outros controles com as entradas e saídas disponíveis, inclusive alguns modelos também permitem a expansão da quantidade dessas entradas e saídas. Já o relé regulador de tensão, irá executar apenas a função de monitoramento e controle dos tapes, seu custo é superior e sua gama de recursos inferiores em relação ao CLP.

O projeto tornou-se viável, pois, além do ganho financeiro com o fim das interrupções no processo e queima de equipamentos, o gasto com materiais para a aplicação do projeto foi mínima devido à utilização de recursos já existentes na empresa. Esse tipo de prática é muito bem vista e valorizada em qualquer organização.

5 – REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL - **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** – PRODIST - Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica

CARDOSO, Alexandre – **Estudos de afundamentos de tensão na expansão de sistemas elétricos – Análise do parâmetro duração**, Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Belo Horizonte 2011.

Cotação da Tonelada métrica seca do minério de ferro – Disponível em <http://www.indexmundi.com/pt/pre%27os-de-mercado/?mercadoria=min%C3%A9rio-de-ferro> acessado em 28/out/2013.

Daneels, A. e Salter, W. (1999). What is scada?, **Conferência Internacional sobre Accelerator e grandes Física Experimental de Sistemas de Controle**, 1999, em Trieste, Itália.

Danos em enrolamentos – **Motores trifásicos**. disponível em [http://www.weg.net/br/Media-Center/Central-de-Downloads/Resultado-da-Busca/\(byURL\)/br%7CProdutos-e-Servicos%7CMotores-Eletricos%7CIndustriais%7CMotor-Seguranca-Aumentada](http://www.weg.net/br/Media-Center/Central-de-Downloads/Resultado-da-Busca/(byURL)/br%7CProdutos-e-Servicos%7CMotores-Eletricos%7CIndustriais%7CMotor-Seguranca-Aumentada) acessado em 23/out/2013.

FRANCO, Edgard. “**Qualidade de Energia – Causas, Efeitos e Soluções**”. Engcomp Tecnologia em Automação e Controle, Ltda, 2004.

GUEDES, Rodrigo Luiz, **Sistema de controle, utilizando CLP e supervisor, para correção de fator de potência e balanceamento de fases no secundário de um transformador de uma subestação**, Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Colegiado do Curso de Engenharia Controle e Automação. Área de concentração: Automação industrial. 2009.

LEBORGNE, RC, Olguin, G., CARVALHO FILHO, JM & Bollen, M. **Differences in Voltage Dip Exposure Depending Upon Phase-to-Phase and Phase-to-Neutral Monitoring Connections** Em: IEEE Transactions on Power Delivery 22, 2, p.. 1153-1159. 7 p, 2007.

Manual de instalação e operação do Relé regulador de tensão. **Treetech Sistemas Digitais** Disponível em : http://www.treetech.com.br/pt/documents/Catalogo_AVR_2012.07.24_rev3.pdf acessado em 29/out/2013

Manual e catálogo do eletricitista 2009 - **Schneider Electric** disponível em http://www.schneider-electric.com.br/documents/electricians/manual_industrial_e_infra-estrutura.pdf acessado em 04/out/2013.

MAMEDE FILHO, João, **Instalações elétricas industriais**. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MARTIGNOMI, Afonso, **TRANSFORMADORES**. 8 Ed. São Paulo: Globo, 1991.

MARTINHO, Edson, **Distúrbios da energia elétrica**. 2. Ed. São Paulo: Érica, 2009.

STEVENSON, William D, **Elementos de Análise de sistemas de potência**. 2 Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

SOUZA, A. J. **Gerência de informação de processos industriais: Um estudo de caso na produção de petróleo e gás**. 2005.