



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
Departamento de Engenharia Elétrica



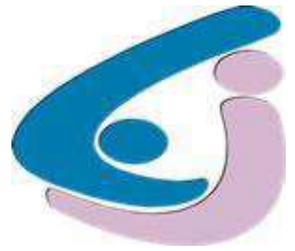
RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

FILIPPE FRAGOSO DA CRUZ

Campina Grande, PB
Setembro 2014



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
Departamento de Engenharia Elétrica



RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Relatório apresentado à coordenação de estágios de Engenharia Elétrica da UFCG, como parte dos requisitos à obtenção de título de engenheiro eletricitista.

Aluno: FILIPE FRAGOSO DA CRUZ

Matricula: 111150079

Campina Grande, PB
Setembro 2014



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
Departamento de Engenharia Elétrica



RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Trabalho apresentado por: Filipe Fragoso da Cruz

Empresa: Companhia Usina São João

Período de Estágio: Junho/2013 a Novembro/2013

Orientador: Antonio Marcus Nogueira Lima

Campina Grande, PB
Setembro 2014



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
Departamento de Engenharia Elétrica



RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Julgado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Orientador

Convidado

Campina Grande, PB
Setembro 2014

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Organograma simplificado da estrutura organizacional da empresa.	9
Figura 2 - Hierarquia do setor "Elétrica".....	10
Figura 3 – Bobinado do estator do gerador síncrono trifásico, passando por manutenção preventiva.	11
Figura 4 – Motor de indução trifásico: eixo, rolamento e bobinado em estado carbonizado, demandando manutenção corretiva.....	12
Figura 5 – Casa de força: cubículos onde ficam instaladas as chaves de manobra e proteção.....	13
Figura 6 – Casa de força: turbina, caixa de engrenagem e gerador síncrono trifásico de 1500kVA.	13
Figura 7 - Esquema simplificado da geração de energia elétrica baseada no aproveitamento do vapor pressurizado. (Adaptada de http://revolucaoenergetica.files.wordpress.com/2014/01/image1.png).....	14
Figura 8 – Disposição dos instrumentos de medição na porta do cubículo.	15
Figura 9 - Multmedidor MGE-144.()	16
Figura 10 - Porta do cubículo com inserção do multmedidor em lugar do medidor de fator de potência.	16
Figura 11- Antigas instalações, com dois TP`s, três TC`s e conjunto disjuntor ao fundo.	20
Figura 12 - Novas instalações com dois TP`s, três TC`s e conjunto disjuntor ao fundo conectados ao barramento e cabos protegidos com muflas.....	20
Figura 13 - Governador de G1 (2301D).....	19
Figura 14 - Governador de G2 (2301A).....	19
Figura 15 - Atuador mecânico que regula a válvula de admissão de vapor.....	20
Figura 16 - Janela do <i>Software</i> Watch Window.....	21
Figura 17 - Esquema do teste inicial dos bancos de capacitores.....	22
Figura 19 - Capacitores avariados.	22

Figura 20 - Triângulo de potências.....	25
Figura 21 - Controlador de demanda.....	26
Figura 22 - Janela do <i>software</i> associado.....	27
Figura 23 - Abrigo climatizado dos inversores que controlam os equipamentos da moenda.....	28
Figura 24 - Antiga disposição dos CCM`s.....	28
Figura 25 - Nova disposição dos CCM`s.....	29
Figura 26 – Vista interna de um dos antigos CCM`s.....	30
Figura 27 – As instalações renovadas do CCM	30
Figura 28 - Garapeira de controle de Brix.....	29
Figura 29 - Esquema simplificado da Garapeira.....	30
Figura 30 - Esquema da centrífuga contínua.(Álcool e Açúcar - Unidade IV - Centrifugação).....	32
Figura 31 - Centrífugas contínuas da Usina.....	33
Figura 32 - Estrutura de uma centrífuga descontínua.(Álcool e Açúcar - Unidade IV – Centrifugação).....	33
Figura 33 - Etapas do ciclo de separação dos cristais de açúcar do mel final. (Álcool e Açúcar - Unidade IV - Centrifugação).....	34
Figura 34 - Centrífugas descontínuas da Usina.....	35
Figura 35 - Esquema de força dos motores multipolos.....	36
Figura 36 - Gabinete de controle do motor síncrono.....	38
Figura 37 - Esquema Simplificado do controle do acionador primario.....	39
Figura 38 - Ponte Controlada que Ajusta o Sentido do Campo.....	39
Figura 39 - Dois modos de operação possíveis.....	40
Figura 40 - Placas de Controle.....	41
Figura 41 - Verso da Placa com Trilhas Desgastadas e Recuperadas com Fio.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Horário x Fator de Potência.	23
Tabela 2 - Pólos x Velocidade.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. EMPRESA.....	9
3. INTRODUÇÃO ÀS ATIVIDADES DA USINA.....	10
3.1. APONTAMENTO	10
3.2. MOAGEM	11
4. SETORES DA USINA E ATIVIDADES REALIZADAS RELACIONADAS	12
4.1. CASA DE FORÇA	12
4.1.1 <i>Melhorias no Sistema de Medição e Proteção dos geradores.....</i>	<i>15</i>
4.1.2 <i>Comissionamento dos Transformadores de Potencial e Transformadores de Corrente. 17</i>	
4.1.3 <i>Importância da Atividade Realizada.....</i>	<i>20</i>
4.2. ACOMPANHAMENTO DO START-UP DA TURBINA A VAPOR E O CONTROLE DA MESMA	18
4.3. TRANSFORMADOR DA FABRICAÇÃO	21
4.3.1. TESTE DOS CAPACITORES.....	21
4.3.2. ESTUDO DOS ASPECTOS ECONÔMICOS DO SEU DESCUMPRIMENTO	23
4.3.3. COMISSIONAMENTO DO NOVO BANCO DE CAPACITORES.....	24
4.3.4. UTILIZAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES	25
4.3.5. PARAMETRIZAÇÃO DE SOFT-STARTS E INVERSORES	27
4.4. ACOMPANHAMENTO DA RENOVAÇÃO DAS CENTRAIS DE CONTROLE DE MOTORES (CCM`s) DA DESTILARIA	28
4.4.1. CONTROLE NO PREPARO DO MOSTO	30
4.5. FABRICAÇÃO.....	31
4.5.1. ATIVIDADES REALIZADAS NAS CENTRÍFUGAS.....	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6. BIBLIOGRAFIA.....	43

1. Introdução

O estágio integrado foi realizado na Companhia Usina São João, sediada na cidade de Santa Rita – PB. Após contato direto com a empresa foi firmado um convênio entre a Companhia Usina São João e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A Usina São João está localizada na zona rural do município de Santa Rita, Paraíba, mais especificamente no engenho central, estendendo sua área de atuação aos municípios circunvizinhos. Há anos de propriedade da família Ribeiro Coutinho, ostenta inclusive nas suas embalagens o histórico fato de produzir açúcar desde 1888, tendo assim mais de um século de experiência na produção de açúcar.

A usina fornece açúcar VHP (Very High Polarization), para exportação, açúcar cristal e açúcar triturado, para indústrias de refrigerantes, alimentos e varejistas de todo o nordeste. Além da fabricação de açúcar, a usina conta com uma destilaria que produz etanol que é inserido no mercado nacional através de diversas distribuidoras.

2. Empresa

A Companhia Usina São João é uma empresa organizada do seguinte modo, conforme apresentado no organograma da Figura 1.

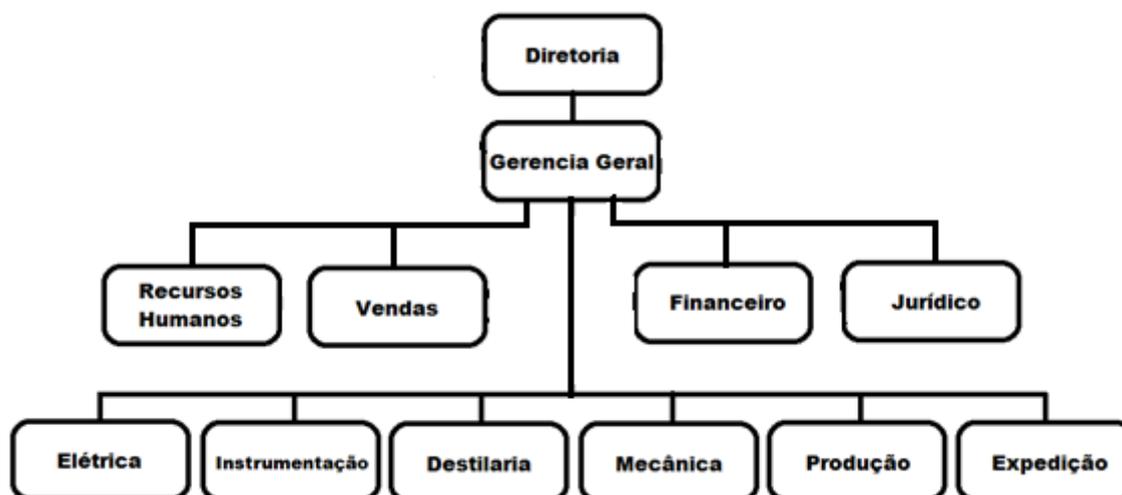


Figura 1 - Organograma simplificado da estrutura organizacional da empresa.

Dentro do setor nomeado “Elétrica” tinha-se a seguinte hierarquia de comando, apresentada no organograma da Figura 2. Fui engajado no mesmo nível hierárquico do encarregado. Possibilitando além do aprendizado de engenharia, uma certa vivencia no gerenciamento das equipes de manutenção.

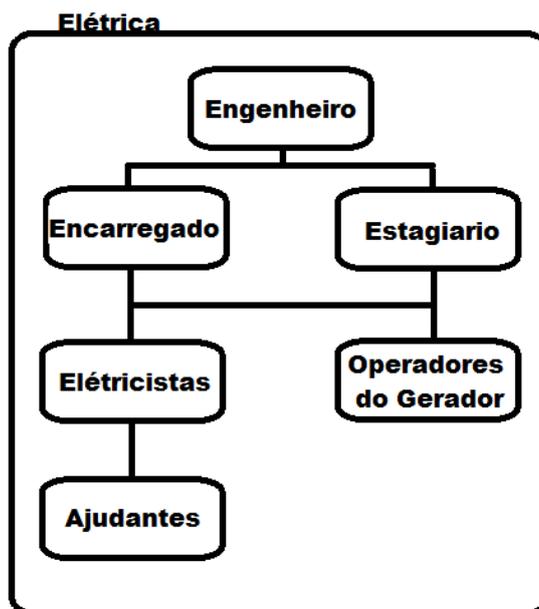


Figura 2 - Hierarquia do setor "Elétrica".

3. Introdução às Atividades da Usina

Durante o estágio foram realizadas diversas atividades no que diz respeito a manutenções preventivas e corretivas nos equipamentos elétricos e também nas instalações. As atividades da usina são divididas em dois períodos distintos comumente chamados de apontamento e moagem, segue-se uma explanação do que são estes períodos e as atividades relacionadas a estes dois momentos.

3.1. Apontamento

O apontamento corresponde ao período de entressafra geralmente abrangendo os meses de março a julho. Durante o apontamento é realizada toda a manutenção preventiva objetivando diminuir a possibilidade de defeitos que poderiam originar a parada, redução de rendimento dos equipamentos, ou do processo produtivo.

Ou seja, o apontamento consiste de um trabalho de prevenção, pois todos os motores são abertos para limpeza e troca de rolamentos e eventualmente renovação do verniz dos bobinados. São feitas novas montagens e um reparo completo nos painéis de força e comando da usina. Pode-se observar na Figura 3 a manutenção do gerador de 1500 KVA.



Figura 3 – Bobinado do estator do gerador síncrono trifásico, passando por manutenção preventiva.

Algumas das vantagens deste tipo de manutenção são:

- I. Redução do número total de intervenções corretivas que são mais caras;
- II. Evitar paradas em momentos críticos;
- III. Elevar a vida útil dos dispositivos.

3.2. Moagem

A moagem em geral compreende os meses de agosto a fevereiro, período no qual a usina funciona 24 horas por dia, sendo qualquer parada não planejada considerada de grande perda, já que são processadas 250 toneladas de cana por hora. Diante disso, são planejados momentos de parada para limpeza e reparos, não apenas no setor elétrico. Estas paradas são denominadas retoque. No retoque são efetuadas limpezas nas caixas de evaporação, dornas entre outros, sendo todas estas apoiadas por iluminação e motores elétricos, o que dificulta os reparos no setor elétrico, pois mesmo no retoque ele tem que funcionar.

Neste período são mais frequentes as manutenções corretivas onde a correção só é efetuada após a ocorrência de uma avaria. Este ciclo "quebra-repara" torna a manutenção mais cara quando encarada do ponto de vista total do sistema. Registrado na Figura 4, um motor de indução de 80 CV sujeito a uma sobrecarga que elevou a temperatura do bobinado inutilizando-o, que se enquadra perfeitamente no tipo de problema que requer uma manutenção corretiva.



Figura 4 – Motor de indução trifásico: eixo, rolamento e bobinado em estado carbonizado, demandando manutenção corretiva.

Decorre deste tipo de manutenção:

diminuição da vida útil dos equipamentos, máquinas e instalações, gerando paradas para manutenção em momentos aleatórios e muitas vezes inoportunos.

Evidentemente é impossível eliminar completamente este tipo de manutenção, porque não se pode prever o momento exato em que se verificará um defeito, porém podemos instalar equipamentos de proteção que os evitem, como relés de sobrecarga e relés falta de fase.

4. Setores da Usina e Atividades Realizadas Relacionadas

As atividades realizadas na usina pelo engenheiro eletricitista residente são em sua ampla maioria ações que tem por objetivo manter o funcionamento ininterrupto do sistema produtivo dependente de energia elétrica, tendo como maior enfoque a tomada de decisão, do que projetos. Segue uma breve descrição dos ambientes em que foram realizadas as atividades de estágio e as atividades realizadas para melhorias e devida utilização dos equipamentos e instalações destes ambientes.

4.1. Casa de Força

Na casa de força estão alocados as chaves seccionadoras e disjuntores de potencia que controlam o despachos de potência para os diversos setores da usina, além dos geradores da usina, que são dois, como podemos observar na Figura 5 e 6

respectivamente. Sendo todos despachos de potência muito bem identificados e protegidos por disjuntores e seccionadoras.



Figura 5 – Casa de força: cubículos onde ficam instaladas as chaves de manobra e proteção.



Figura 6 – Casa de força: turbina, caixa de engrenagem e gerador síncrono trifásico de 1500kVA.

A usina São João assim como tantas outras é autossuficiente em energia elétrica por aproveitar a biomassa gerada na moagem da cana, o bagaço, que é queimado para gerar vapor na caldeira. Então esse vapor é tubulado e segue para o

sistema de geração elétrica. O sistema de geração é formado pelos seguintes componentes: máquina primária, redutor mecânico, gerador, transformador e sistema de controle, comando e proteção.

A máquina primária é uma turbina a vapor que é responsável por converter a energia proveniente do vapor da caldeira em energia cinética de rotação. A pressão do vapor é muito alta gerando uma rotação bem superior à necessária para a geração, por isso utiliza-se um redutor mecânico para compatibilizar as velocidades da máquina primária com a do gerador. Esta rotação por sua vez é transmitida ao gerador que converte a energia cinética de rotação em energia elétrica. Quando o gerador não está em conformidade com a tensão da rede utiliza-se um transformador que é responsável por compatibilizar o nível de tensão gerada com o nível de tensão da rede a qual o sistema será ligado.

Sistema de controle, comando e proteção asseguram as condições de qualidade da energia que será fornecida ao sistema consumidor em conformidade com as normas (nível de tensão, sincronismo, etc.) e permite a supervisão do funcionamento pelo operador.

Um esquema simplificado do sistema acima descrito é ilustrado na Figura 7.

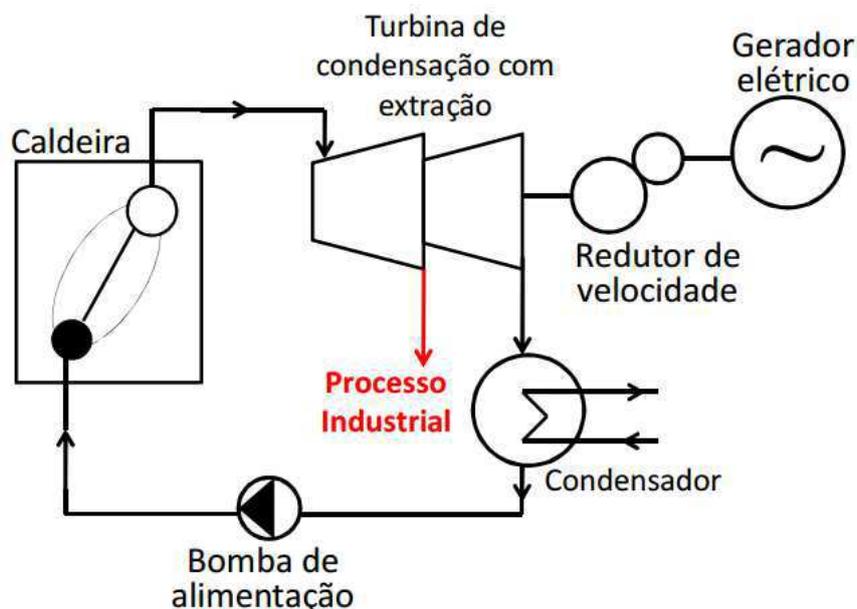


Figura 7 - Esquema simplificado da geração de energia elétrica baseada no aproveitamento do vapor pressurizado. (Adaptada de <http://revolucaoenergetica.files.wordpress.com/2014/01/image1.png>)

4.1.1 Melhorias no Sistema de Medição e Proteção dos geradores

A primeira atividade realizada durante o estágio foi acompanhar a instalação de Multimetro e relé de proteção nos despachos de potência, o que se resumiu, devido aos custos envolvidos, à saída dos geradores e no cubículo onde chega a energia proveniente da concessionária “Energisa” que permite o funcionamento da usina independente de sua própria geração.

A usina possui dois geradores um de 5000 KVA e outro de 1500 KVA que tornam a usina autossuficiente em energia elétrica no período da moagem. Estes proporcionam com sobras toda a energia requisitada pelo sistema produtivo.

Podemos observar na Figura 8 os instrumentos de medição do G1 (gerador de 5000 KVA).



Figura 8 – Disposição dos instrumentos de medição na porta do cubículo.

Esse mesmo arranjo se repete para o segundo. À esquerda são realizadas as medições referentes à excitação do gerador enquanto as demais são medições de tensão, corrente, fator de potência e potência provenientes do gerador. O medidor de fator de potência já não funcionava há algum tempo e foi eliminado e em seu lugar foi instalado um multimetro da ABB igual ao apresentado na Figura 9. Ficando a porta do cubículo conforme apresentado na Figura 10.



Figura 9 - Multimedidor MGE-144.0

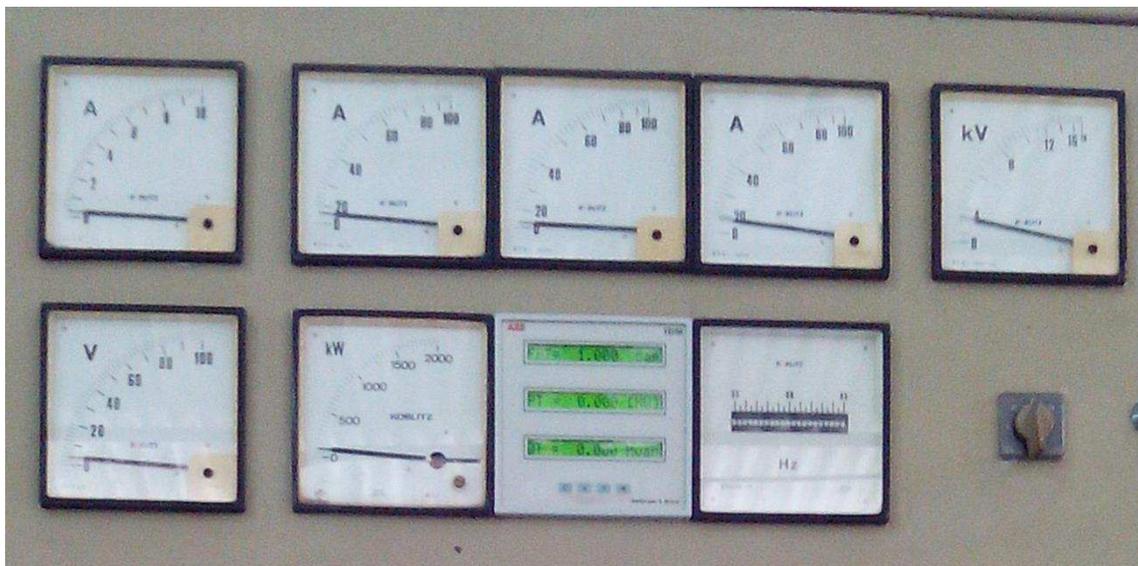


Figura 10 - Porta do cubículo com inserção do multimedidor em lugar do medidor de fator de potência.

Esse multimedidor faz medição de 40 variáveis elétricas: tensão de fase e linha, correntes de linha, potências ativa, reativa e aparente, fator de potência (por fase e total), energia ativa e reativa, demanda de corrente, demanda de potência, ângulo de defasagem e frequência. Porém, para que este venha a operar de forma confiável requer a instalação de TP's (transformadores de potencial) e TC's (transformadores de corrente) compatíveis ao sistema.

4.1.2 Comissionamento dos Transformadores de Potencial e Transformadores de Corrente.

Um **TP** é um equipamento usado principalmente para sistemas de medição de tensão elétrica, sendo capaz de reduzir a tensão do circuito para níveis compatíveis com a máxima suportável pelos instrumentos de medição. Seu circuito primário (entrada) é conectado à tensão a ser medida, sendo que no secundário (saída) será reproduzida uma tensão reduzida e diretamente proporcional à do primário. Assim, com menor custo e maior segurança, pode-se conectar o instrumento de medição no secundário. A razão (divisão) entre a tensão no primário sobre a tensão apresentada no secundário de qualquer transformador é uma constante chamada de RT (relação de transformação). A RT é determinada na fabricação do TP pela razão entre o número de espiras do enrolamento primário sobre o número de espiras do enrolamento secundário, assim conhecendo-se a RT e a tensão no circuito secundário, tem-se o valor da tensão no circuito primário. Os TPs podem ser considerados especiais, pois são fabricados de forma a apresentar uma RT com ótima exatidão, ou seja, uma pequena variação na tensão do primário causará uma variação proporcional também no secundário, permitindo assim que a indicação no voltímetro apresente uma incerteza de medição muito pequena. A tensão reduzida do circuito secundário do TP também é usada para alimentar, de forma igualmente segura, os circuitos de proteção e controle.

Um **TC** é um dispositivo que reproduz no seu circuito secundário, a corrente que circula em um enrolamento primário com sua posição vetorial substancialmente mantida, em uma proporção definida, conhecida e adequada. Os transformadores de corrente são utilizados em aplicações de alta tensão (situações essas onde circulam, frequentemente, altas correntes), fornecem correntes suficientemente reduzidas e isoladas do circuito primário de forma a possibilitar o seu uso por equipamentos de medição, controle e proteção.

Estes elementos são padronizados no mercado, pois seguem as normas técnicas NBR 6855 [3] que normatiza transformadores de potencial e a NBR 6856 [2] que normatiza os transformadores de corrente. O comissionamento destes dispositivos deve levar em consideração os limites de operação dos geradores.

Os **TPs** tem sua tensão de secundário normatizada em 115 V deixando para o engenheiro como primeiro passo para sua escolha definir a RT (relação de transformação) que nada mais é do que a divisão da tensão no primário pela tensão no secundário.

Tanto o gerador G1 como o G2 tem tensão de saída de 13800V, assim:

$$RT = \frac{13800 \text{ V}}{115 \text{ V}} \quad RT = 120 \quad (1)$$

Existe uma série de outros parâmetros:

- I. Nível de isolamento
- II. Frequência de trabalho
- III. Precisão

, mas o mais importante deles é este.

Os **TC's** são padronizados para um secundário que circule no seu valor máximo 5A. Assim, para definirmos qual a RT do mesmo, precisamos saber a máxima corrente que irá circular, pelo primário. Mesmo que não esteja sendo utilizada a potência total do gerador se faz necessário tomarmos os valores nominais, visto que o valor nominal é o de referência. Sabendo que a potência nominal do gerador é de 5000kVA para definir a corrente usamos a lei de Ohm.

$$i = \frac{5000 \text{ kVA}}{13,8 \text{ kV}}$$
$$i = 362,32 \text{ A} \quad (2)$$

Como este não é um valor padrão aproximamos para o valor superior mais próximo, que é 400 A. Assim a RT é dada por:

$$RT = \frac{400 \text{ A}}{5 \text{ A}}$$

A RT dos transformadores é tão importante porque define a proporcionalidade entre o primário e o secundário, o que permite para equipamentos compatíveis com essas RTs apresentar diretamente o valor desejado, evitando a necessidade de qualquer tipo de conversão por parte do operador, diminuindo assim a possibilidade de erro humano.

O segundo parâmetro a definir é a classe de isolamento, que é definida pela tensão do circuito ao qual o TC vai ser ligado, (em geral, a tensão máxima de serviço). Os TCs usados em circuitos de 13,8 kV, por exemplo, têm classe de isolamento de 15 kV.

O terceiro parâmetro é a frequência de operação se 50 ou 60 Hz sendo quase sempre segundo os manuais técnicos projetado para funcionar em ambas as frequências.

É costumeiro utilizar os TCs com duplo secundário separando um para medição e outro para proteção. Tendo como elemento de diferenciação entre eles a precisão. TCs de medição, por norma, têm as seguintes classes de exatidão: 0,3%, 0,6% e 1,2%. A classe 0,3% é obrigatória em medição de energia para faturamento. As outras são usadas nas medições de corrente, potência, ângulo, etc.. Em geral, a indicação da classe de exatidão precede o valor correspondente à carga nominal. Já o enrolamento de proteção deve retratar com fidelidade as correntes de defeito, sofrendo o mínimo possível, os efeitos da saturação. Para dimensionar os TCs de proteção, tendo em vista que os mesmos devem responder, de acordo com sua classe de exatidão ($\pm 10\%$), a valores de corrente bastante severos nos seus primários. Portanto temos outro parâmetro importante: o fator de sobre corrente nominal (FS), que expressa a relação entre a máxima corrente com a qual o TC mantém a sua classe de exatidão e a corrente nominal. Segundo a ABNT e normas internacionais, o valor máximo desse fator é igual a 20 vezes a corrente primária.

Outro fator importante que deve ser observado durante a instalação destes é a polaridade, que segundo a norma deve ser subtrativa, ou seja, quando a onda de corrente, num determinado instante, percorre o circuito primário de P1 para P2 e a onda de corrente correspondente no secundário assume a trajetória de S1 para S2. Estas indicações são claramente identificadas pelas nomenclaturas P1 e P2 e S1 e S2 em baixo

ou auto relevo no corpo do dispositivo. A ligação errada pode gerar erros nos equipamentos que dependem da fase como medidores de fator de potência e energia.

Podemos observar nas Figuras 11 e 12 respectivamente como estava e como ficou a montagem dos TCs e TPs dentro do cubículo.

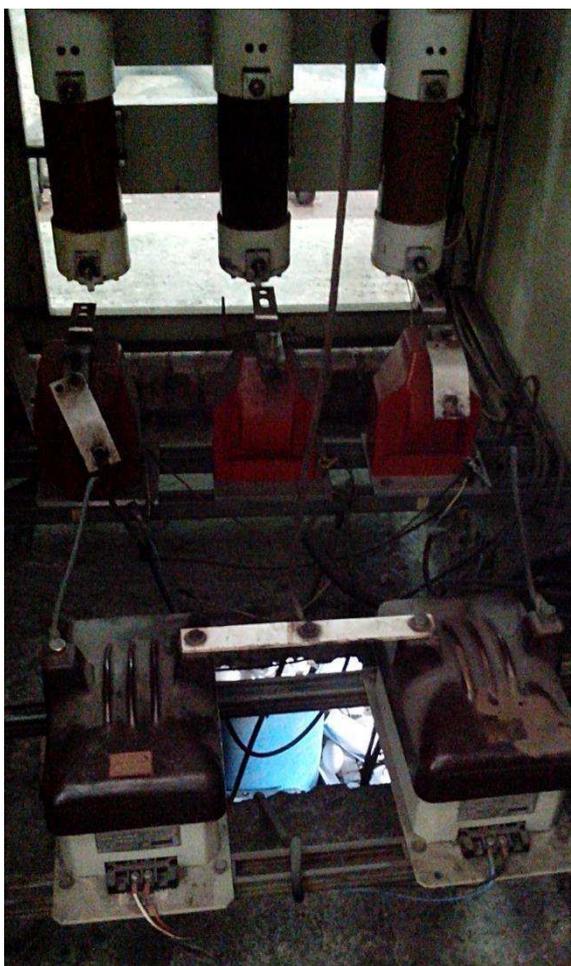


Figura 11- Antigas instalações, com dois TP's, três TC's e conjunto disjuntor ao fundo.



Figura 12 - Novas instalações com dois TP's, três TC's e conjunto disjuntor ao fundo conectados ao barramento e cabos protegidos com mufas.

4.1.3 Importância da Atividade Realizada.

A medição realizada pelos antigos instrumentos analógicos apresentavam uma grande discrepância em relação às medições realizadas pelo novo equipamento instalado. Sendo a mais notória delas a medição de potência instantânea, onde os instrumentos analógicos apresentavam uma diferença de 300 KW a mais que o valor medido pelo multimetro. Com isso o operador se tranquiliza em saber que o gerador

não está trabalhando tão próximo do seu limite e evita que o operador venha a desligar algum despacho para que o gerador não seja desligado completamente pelo sistema de proteção, o que viria a estabelecer mesmo que momentaneamente um *blackout* na usina.

Isso pode comprovadamente ser de grande importância quando, no dia 12/11/2013 durante a noite o G2 (gerador de 1500KVA) parou de funcionar. E foi possível operar normalmente apenas com o G1. Caso ainda dependêssemos da medição analógica, teríamos de comprometer parte do processo, pois segundo a medição analógica, superaram-se os limites do gerador.

4.2. Acompanhamento do Start-up da Turbina a Vapor e o Controle da mesma

Para que o gerador supra a carga a ele associada na frequência padrão de 60 Hz é necessário que ele mantenha uma rotação de 1800 RPM visto se tratar de uma máquina síncrona que obedece a seguinte equação [4]:

$$n_s = \frac{f_e * 120}{P} \quad (4)$$

Onde: n_s - velocidade síncrona (rpm);

f_e - frequência da rede (Hz);

P - número de pólos.

Sabendo-se que interligando o gerador à turbina a vapor temos uma redução mecânica de 5:1, é necessário manter a turbina a vapor numa rotação de 6000 RPM's. Para tanto são utilizados governadores da Woodward sendo no gerador G1 um 2301D e no G2 um 2301A. Estes são apresentados nas Figuras 13 e 14 respectivamente.

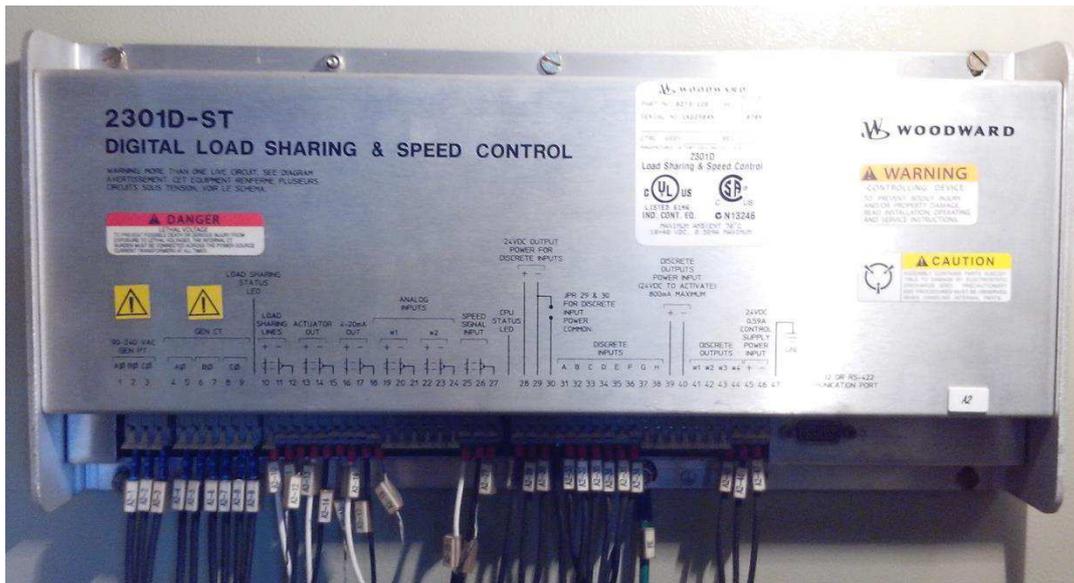


Figura 13 - Governador de G1 (2301D).

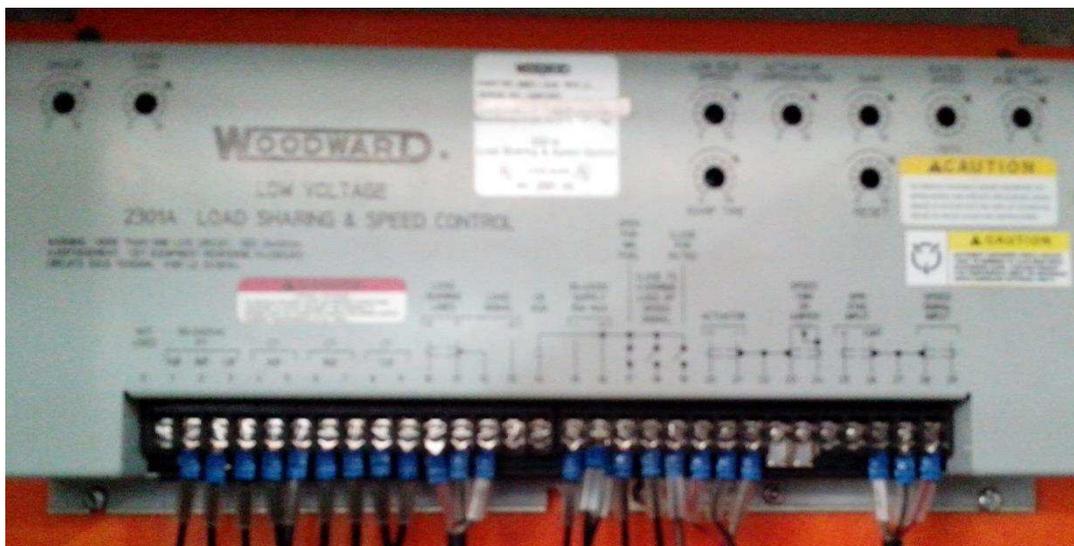


Figura 14 - Governador de G2 (2301A).

Eles são usados tanto com motores diesel ou a gás, como com turbinas a vapor e são compatíveis com todos os controles eletrônicos. Com controle digital baseado em microprocessador, é composto de uma única placa de circuito impresso. O *software* de configuração flexível incorporado no *hardware* de controle permite mudanças fáceis para acomodar gama de motores de velocidade, dentes de engrenagens, e seleção de avanço ou retrocesso de agir. A flexibilidade do *software* permite ao 2301D incluir funções de controle.

O sinal proveniente do governador prossegue para o atuador que é o sistema mecânico de controle, apresentado na Figura 15, que controla a admissão de vapor.



Figura 15 - Atuador mecânico que regula a válvula de admissão de vapor.

A partir do *software* watch window fornecido pela própria fabricante woodward podemos observar todas as variáveis, como velocidade, posição da válvula tanto em seus valores normais como em porcentagem ou até mesmo no formato 4 a 20 mA. Com ele podemos definir set point, valores de “trip” além de alterar constantes proporcional integral e derivativa do controlador. Caracterizando-se assim como uma ferramenta de serviço projetado para técnicos e engenheiros de aplicação ou manutenção de sistemas de controle Woodward. Possuindo três versões, Watch Window Standard para controles normais, Watch Window Professional para controles personalizados que precisam de conectividade serial, Watch Window II Professional para controles personalizados que precisam de conectividade Ethernet.

A Figura 16 mostra a tela principal e algumas abas de configuração. Os parâmetros do controle já vem previamente sintonizados, sendo alterados só em face de alguma alteração estrutural que altere a vazão ou a pressão do vapor na admissão.

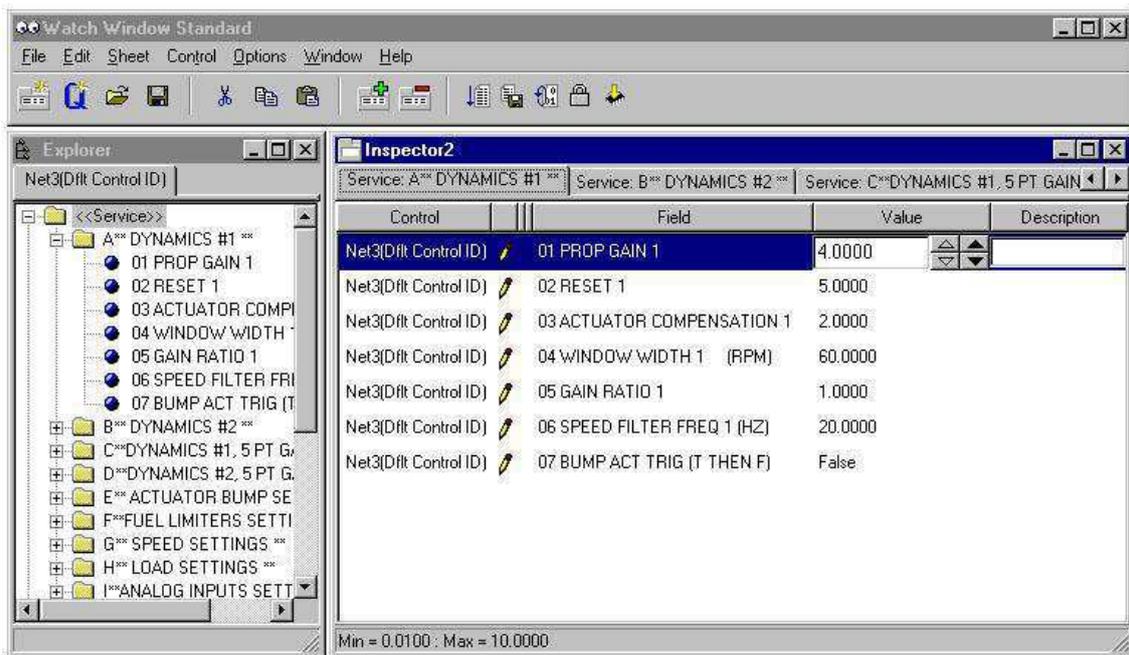


Figura 16 - Janela do Software Watch Window

4.3. Transformador da Fabricação

O transformador da fabricação, segundo o mostrador analógico, estava quase em seu limite de potência que era de 1500 kVA, então foi planejada a inserção de um banco de capacitores para suprir os reativos e aliviar a carga vista pelo transformador. Porém o efeito não foi o esperado visto que foram inseridos 4 bancos de capacitores que perfaziam 87 kvar, Porém o efeito foi de uma redução de apenas 17 kvar, por isso iniciou-se um teste nos capacitores.

4.3.1. Teste dos Capacitores

Todos os capacitores foram testados individualmente por alimenta-los com tensão senoidal e medir a corrente circulante em cada capacitor comparando com a expectativa dada por sua potência dividida pela tensão imposta. Se a corrente estivesse fora do esperado fazíamos a medição individualmente. Procedimento ilustrado na Figura 17, além de tantos que se encontravam carbonizados outros estavam com integridade física do seu invólucro porém avariados como pode-se ver na Figura 18.

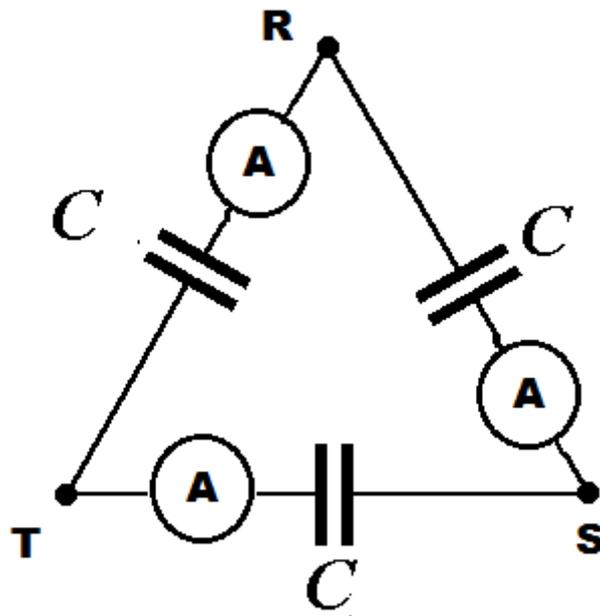


Figura 17 - Esquema do teste inicial dos bancos de capacitores.



Figura 18 - Capacitores avariados.

Devido a grande quantidade de capacitores avariados, foi solicitado um novo banco de capacitores não mais para suprir a necessidade deste transformador, pois foram realocados capacitores de outros locais para este ponto de necessidade imediata. Agora precisava-se de um novo banco de capacitores para adequar o sistema às normas referentes ao fator de potência, que conforme consta no artigo N° 95 da Resolução

ANEEL N°414 [1]. Tal resolução divide o dia e estipula o fator adequado para as empresas conforme a tabela 1.

06:00 às 22:00	0,92 indutivo
23:00 às 06:00	0,92 capacitivo

Tabela 1 - Horário x Fator de Potência.

4.3.2. Estudo dos aspectos econômicos do seu descumprimento

Quem descumpre está sujeito a uma espécie de multa que leva em conta o fator de potência medido e a energia consumida ao longo de um mês. A resolução explica como será tal faturamento da seguinte forma. Para unidade consumidora que possua equipamento de medição apropriado, incluída aquela cujo titular tenha celebrado o CUSD, os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme as seguintes equações:

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^{n_1} \left[EEAM_T \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] VR_{ERE} \quad (5)$$

$$D_{RE}(p) = \left[MAX_{T=1}^{n_2} \left(PAM_T \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF(p) \right] VR_{DRE} \quad (6)$$

onde:

E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência " f_R ", no período de faturamento, em Reais (R\$);

$EEAM_T$ = montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo "T" de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

f_R = fator de potência de referência igual a 0,92;

f_T = fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo "T" de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento;

VR_{ERE} = valor de referência equivalente à tarifa de energia "TE" aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh);

$D_{RE}(p)$ = valor, por posto tarifário “p”, correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “ f_R ” no período de faturamento, em Reais (R\$);

PAM_T = demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora “T”, durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);

$PAF(p)$ = demanda de potência ativa faturável, em cada posto tarifário “p” no período de faturamento, em quilowatt (kW);

VR_{DRE} = valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário fora de ponta - das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horária azul e das TUSD Consumidores-Livres, conforme esteja em vigor o Contrato de Fornecimento ou o CUSD, respectivamente;

MAX = função que identifica o valor máximo da equação, dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto tarifário “p”;

T = indica intervalo de 1 (uma) hora, no período de faturamento;

p = indica posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia;

n_1 = número de intervalos de integralização “T” do período de faturamento para os postos tarifários ponta e fora de ponta; e

n_2 = número de intervalos de integralização “T”, por posto tarifário “p”, no período de faturamento.”

4.3.3. Comissionamento do Novo Banco de Capacitores

Respeitar esta normativa durante a moagem não é essencial visto que o gerador pode operar em condições fora desta faixa, porém caso exista alguma falha no gerador e precise-se recorrer a concessionária de energia convêm estarmos dentro da norma visto que as multas por estar fora da faixa permitida geram um custo adicional.

Para tanto, usando o triângulo de potências foram realizados os seguintes cálculos:

Sendo a potência limite $S = 5000\text{kVA}$ e o fator de potência atual de $\cos\phi = 0,72$ seguindo o triângulo de potências ilustrado na Figura 19, teremos que:

$$Q = S \operatorname{sen} \varphi \quad (7)$$

$$Q = S \operatorname{sen} (\cos^{-1} 0,72) \quad (8)$$

Para os valores citados temos a potência reativa para o fator de potência atual

$$Q = 3469,87 \text{ kvar}$$

Desejamos um $\cos\varphi=0,92$ que seguindo os mesmos cálculos anteriores para a mesma potência limite, nos dará a seguinte potência reativa:

$$Q = 1959,59 \text{ kvar}$$

Subtraímos a potência reativa atual da corrigida. Esse valor de potência reativa junto com a tensão de alimentação serão os parâmetros para a aquisição do banco de capacitores, que neste caso será $Q = 1510,28 \text{ kvar}$, a uma tensão de 380 V.

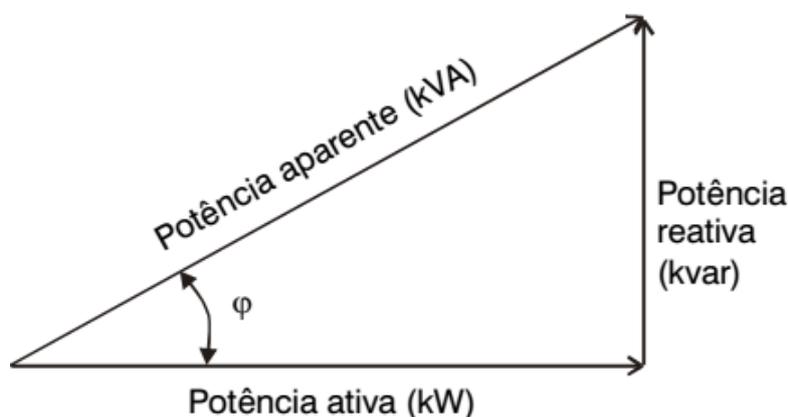


Figura 19 - Triângulo de potências

4.3.4. Utilização de Banco de Capacitores

Esse banco de capacitores não se trata de um grande grupo de capacitores já montados e insubstituíveis. Na verdade, é uma série de vários bancos de capacitores de menor porte que são associados em paralelo até atingir este valor total. Isto permite que o controlador de demanda apresentado na Figura 20 controle a potência reativa e defina quais os bancos que irão entrar no sistema. Até o término do estágio o Banco de capacitores não havia chegado.



Figura 20 - Controlador de demanda.

Como ferramenta importante associada a esse dispositivo temos um *software* que possibilita vermos tanto o fator de potência como outras variáveis e as apresenta na tela do computador possibilitando um acompanhamento remoto horário, semanal, mensal ou anual. Além de uma programação que mantenha o fator de potência obedecendo à resolução ANEEL N°414 [1]. Podemos ver na Figura 21 a tela de relatório de demanda ativa e o fator de potência.

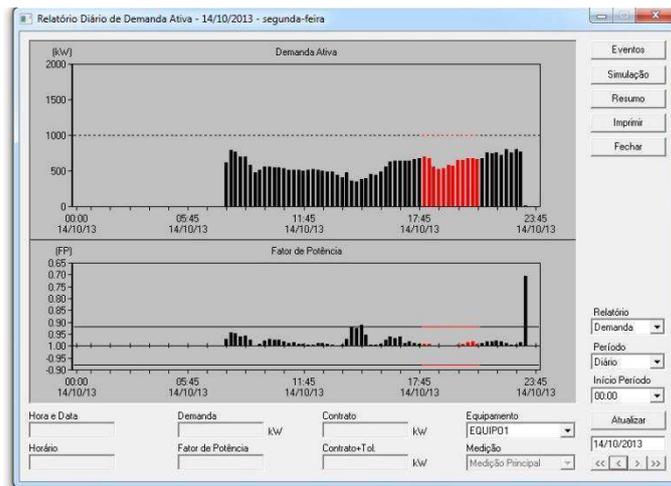


Figura 21 - Janela do *software* associado.

4.3.5. Parametrização de Soft-starts e Inversores

O ambiente apresentado na Figura 22 abriga uma série de inversores e soft-starts que acionam a mesa alimentadora, esteiras metálicas, esteira de borracha e algumas bombas. A parametrização de todos estes é feita através do *software* fornecido gratuitamente pela própria “WEG” o Super Drive 6.10, que permite observar e alterar qualquer parâmetro do inversor. Além disso, foi feito um “backup” dos parâmetros de cada um dos inversores, tendo em vista que os responsáveis pelo seu funcionamento são os funcionários de instrumentação, que podem eventualmente perder a configuração executada pelo engenheiro.

O que se mostra importante, visto que por vezes defeitos em transmissores de pressão ou nível são mascarados por alterações na velocidade mínima das bombas, o que mantém o sistema funcionando, porém, sem controle. Sendo necessário após a identificação da falha, voltar ao padrão anterior. Que por vezes não é lembrado pelos práticos que operam o sistema.



Figura 22 - Abrigo climatizado dos inversores que controlam os equipamentos da moenda.

4.4. Acompanhamento da Renovação das Centrais de Controle de Motores (CCM's) da Destilaria

Na destilaria foi efetuada uma grande renovação nos CCM's objetivando a diminuição das avarias permanentes de motores. Havia muitos quadros subutilizados, possuindo em alguns casos apenas uma partida direta. Também visando uma padronização, foram eliminados os quadros mais antigos deixando todos no padrão. Podemos observar o resultado por comparar a Figura 23 com a Figura 24.



Figura 23 - Antiga disposição dos CCM's.



Figura 24 - Nova disposição dos CCM's.

Além disso, devido ao grande espaço dentro dos quadros, as montagens encontravam-se muito mal feitas e, portanto, não apenas os quadros foram renovados como as montagens. Nas Figuras 25 e 26 a seguir podemos observar como estavam e como ficaram os quadros.



Figura 25 – Vista interna de um dos antigos CCM's.



Figura 26 – As instalações renovadas do CCM .

4.4.1. Controle no Preparo do Mosto

Mosto é o material fermentescível previamente preparado. O mosto na Usina São João é composto de caldo proveniente do último terno de moagem, melão e água. O caldo é enviado às dornas de fermentação. No preparo do mosto definem-se as condições gerais de trabalho para a condução da fermentação como, regulagem da vazão, teor de açúcares e temperatura. Densímetros, medidores de vazão e controlador de Brix automático monitoram este processo.

O controle do Brix é realizado na garapeira apresentada na Figura 27, que nada mais é que um tanque com um agitador onde temos como entrada, água, caldo e melão.



Figura 27 - Garapeira de controle de Brix

O esquemático da Figura 28 ajuda o entendimento de como funciona tal controle. O set-point típico é um Brix de 12 (A escala Brix é utilizada na indústria de alimentos para medir a quantidade aproximada de açúcares), a água possui zero de Brix, o Melaço tem entre 65 e 68 de Brix e o caldo tem um brix extremamente variável. O processo pode ser aproximado por um sistema reator químico isotérmico com tanque agitador contínuo (CSTR isotérmico) [6]. Esse tipo de reator é usado para gerar um produto através da mistura contínua de dois ou mais reagentes, que são continuamente injetados no tanque através de um alimentador. O produto, resultado da reação é retirado de forma contínua do tanque através de bombas e válvulas.

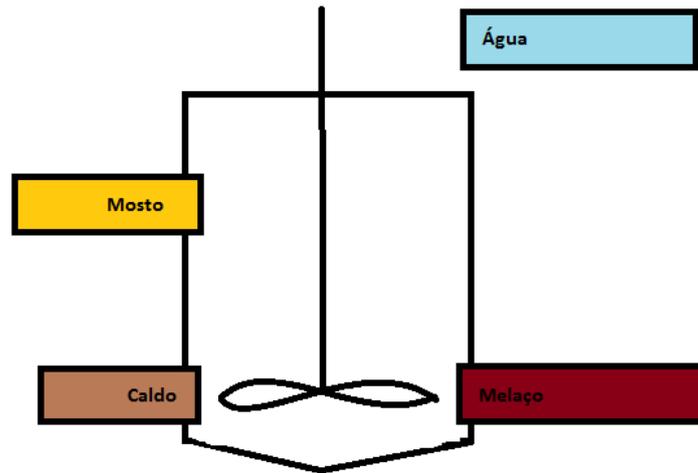


Figura 28 - Esquema simplificado da Garapeira.

A vazão da água e do caldo não são controladas e mantidas constantes. Já a vazão do melaço é controlada por uma válvula. Isto nos leva as duas simplificações básicas do sistema CSTR.

- I. Considerar o volume contido no tanque constante, fazendo o fluxo de entrada é igual ao fluxo de saída.
- II. Um reagente pode ser fornecido em tal quantidade, que mantenha a concentração a sua concentração para qualquer volume e em qualquer momento do processo de reação.

A condição “I” é conseguida pois a saída da garapeira não tem controle de vazão, sendo a saída acumulada em outros tanques subsequentes, assim a vazão da saída eh sempre igual a vazão de entrada. Já a água se enquadra na condição “II”.

O caldo tem além do brix a vazão bastante variável, sendo um aspecto que dificulta a modelagem do processo. O controle resume-se em fim ao controle do melaço.

O controle deste componente é bastante complexo devido à sua viscosidade, além de exigir-se maior esforço da válvula que o controla. Propus fazermos um controle reverso, onde poderíamos manter o fluxo do mel constante e controlar o brix pela entrada de água no sistema, onde poderíamos ter um controle bem mais rápido do sistema. A ideia foi desconsiderada pelo fato que a produção de etanol é secundária e

por vezes para manter a produção máxima de açúcar o fornecimento do melaço é interrompido.

Modelar o processo requeria medir o volume da garapeira, a vazão de entradas dos reagentes e introduzir nas equações do sistema CSTR. Porém desisti de levar a frente este projeto pelo fato de que os requisitos básicos de controle não são assegurados, pois estipula-se um set point que por vezes se torna inalcançável porque o fornecimento do melaço foi completamente interrompido.

Todas as etapas do processo são monitoradas através de análises laboratoriais de modo a assegurar a qualidade final dos produtos. As pessoas envolvidas passam por treinamentos específicos, capacitando-as a conduzir o processo de forma segura e responsável. Observei porém que cada etapa que envolve a fabricação de açúcar e álcool, devido aos problemas de controle apresentados, requer decisões empíricas tomadas pelos “mestres” do setor.

4.5. Fabricação

Uma das últimas etapas do processo produtivo do açúcar é a separação dos cristais de açúcar do mel final. Isto é feito por centrífugas comumente chamadas de turbinas de açúcar.

A centrifugação do açúcar é uma etapa fundamental para obtenção de um produto de qualidade. O conhecimento das máquinas, equipamentos e técnicas corretas envolvidas é fundamental para obter desta operação o máximo de eficácia, qualidade e segurança. As centrífugas são divididas em dois tipos:

a. Centrífugas Contínuas

São utilizadas para massa B ou C, por trabalharem a altas rotações e ocasionarem apreciável quebra do açúcar. O tempo de residência da massa na centrífuga é pequeno e requer altas velocidades.

Essas centrífugas giram a uma velocidade constante e são alimentadas por um “fio” contínuo fornecendo uma vazão constante de açúcar. Conforme esquematizado na Figura 29, que nos apresenta um corte longitudinal da máquina em questão.

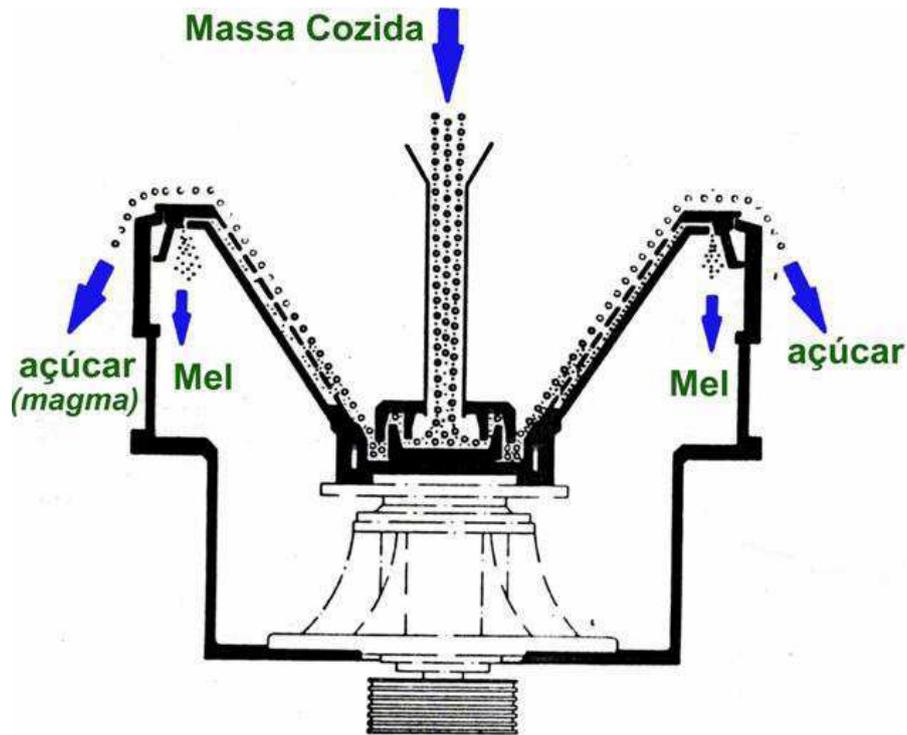


Figura 29 - Esquema da centrífuga contínua.(Álcool e Açúcar - Unidade IV - Centrifugação)

A massa cozida escoar através do sistema central, continuamente para a centrifugação, sendo distribuída uniforme e continuamente sobre a tela de separação do cesto. O mel se separará sozinho da massa cozida durante o avanço da mesma sobre a tela. O mel desliza então sobre o cone liso, que se encontra sob a tela, devido à ação da força centrífuga. O mel sai pelos orifícios do anel superior do cesto e se dirige até a caixa dos méis.

A Usina São João possui cinco dessas turbinas, como podemos ver através da Figura 30. Estas não possuem nenhum controle específico, são partidas por compensadoras, mas tem-se o plano de implementar, no futuro *soft-starts* para sua partida.



Figura 30 - Centrífugas contínuas da Usina.

b. Centrífuga Descontínua

Esse tipo de centrífuga é normalmente utilizada para centrifugação de massa A para produção de açúcar cristal, demerara e VHP.

A Figura 31 mostra um esboço da estrutura de uma dessas turbinas.

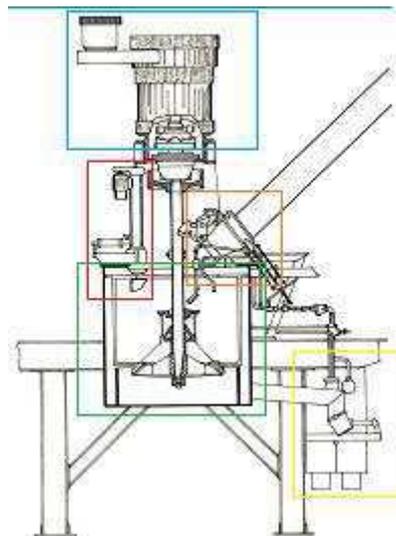


Figura 31 - Estrutura de uma centrífuga descontínua.(Álcool e Açúcar - Unidade IV – Centrifugação)

- Delimitado por um retângulo azul temos o acionador principal (motor)
- Delimitado por um retângulo vermelho temos o descarregador
- Delimitado por um retângulo amarelo observamos os tanques de méis (mel pobre e mel rico se mantem separados)
- Delimitado por um retângulo laranja temos o conjunto alimentador (comporta, bandeja e bico de lavagem da bandeja)
- Delimitado por um retângulo verde temos o cesto telado (fundo móvel, apalpador, bicos de lavagem do açúcar)

A Composição Típica de um Ciclo é demonstrada na Figura 32 seguida de uma descrição passo a passo.

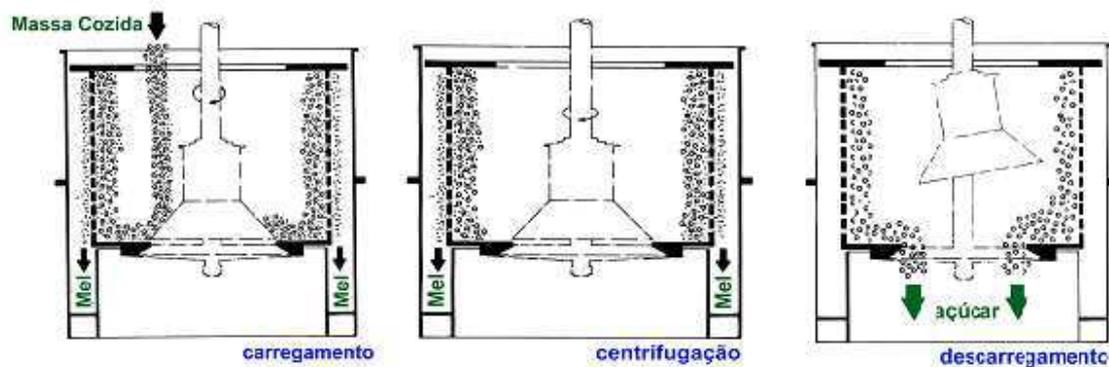


Figura 32 - Etapas do ciclo de separação dos cristais de açúcar do mel final. (Álcool e Açúcar - Unidade IV - Centrifugação)

- 1º. Abre-se a comporta e inicia-se o carregamento;
- 2º. O apalpador identifica a carga máxima da turbina e interrompe o carregamento;
- 3º. A saída do alimentador é lavada e em seguida a bandeja que evita o respingo dessa lavagem é fechada;
- 4º. Então a centrífuga acelera dando início a retirada de mel;
- 5º. Lavagem com Água (Normalmente durante a aceleração);
- 6º. Em velocidade máxima é efetuada uma lavagem com vapor;
- 7º. Frenagem e descarregamento;
- 8º. Lavagem do cesto.

4.5.1. Atividades Realizadas nas Centrífugas

A usina possui no momento 4 turbinas desse tipo, sendo duas BOSCO e duas BMA-MAUSA com a possibilidade de instalação de mais uma. Estão apresentadas em sequência da esquerda para a direita na Figura 33.



Figura 33 - Centrífugas descontínuas da Usina.

As turbinas BMA-MAUSA P650 são tocadas por motores multi pólos, que são eles um motor de 06 pólos e um de 12 pólos, na parte inferior da estrutura do motor enquanto que na parte superior temos um de 36 pólos e 72 pólos. São utilizados 4 contadores para fazer a alternância entre os quatro possíveis fechamentos deste motor.

Então o CLP comanda os contadores que acionam os “motores” com o fechamento adequado para a velocidade que se deseja atingir. Os motores de indução seguem a mesma prerrogativa de velocidade apresentada na equação (4), de forma que os motores que tocam as turbinas BMA-MAUSA P650 podem assumir as seguintes velocidades:

6 pólos	1200 rpm
12 pólos	600 rpm
36 pólos	200 rpm
72 pólos	100 rpm

Tabela 2 - Pólos x Velocidade.

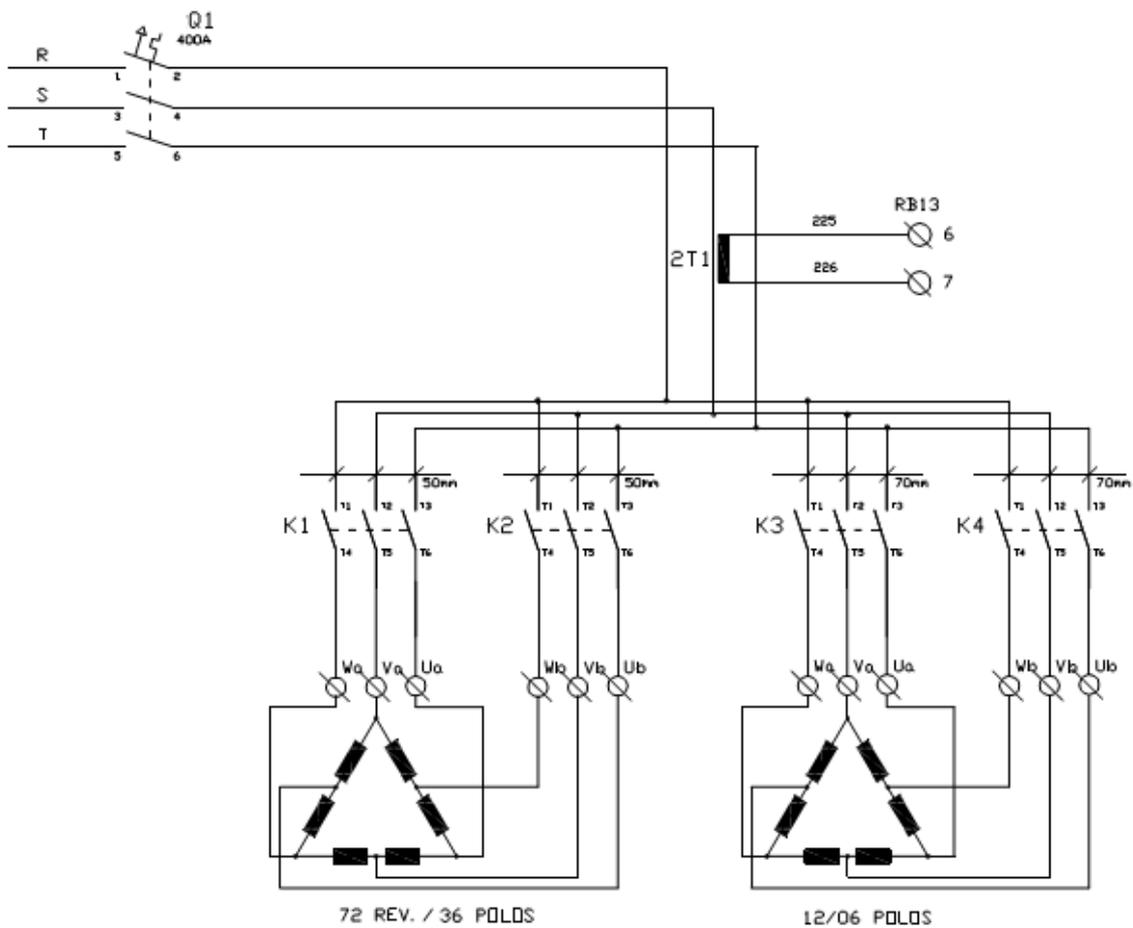


Figura 34 - Esquema de força dos motores multipolos.

Foi realizada a instalação dos quadros de força e das válvulas pneumáticas que realizam o comando de diversas partes da turbina.

Já as turbinas BOSCO são tocadas por uma máquina síncrona acionada pelo sistema de controle que pode ser observado na Figura 34. A parte vazia no quadro esquerdo era onde se encontravam os contadores que faziam toda a parte de comando, porém estes foram substituídos por um CLP da WEG que faz toda a parte de comando onde pode-se através de uma IHM alterar tempos de lavagem, tempo de centrifugação entre outros parâmetros de produção, além de se monitorar a quantidade de ciclos/hora, que estando a turbina bem ajustada mecanicamente, nos dá uma estimativa da quantidade de quilos de açúcar que estão sendo produzidos por hora.

A programação do CLP foi realizada por uma empresa terceirizada que para sua própria segurança mantém o código fechado. Por isso fico impossibilitado de dar mais detalhes. Me apeguei então ao entendimento do funcionamento do controle da

máquina síncrona, que por sinal não funcionava apesar de os sinais advindos do CLP estarem chegando normalmente.

As partes componentes do sistema estão marcadas também na Figura 34 da seguinte forma.

- Delimitado por um retângulo vermelho o modulo inversor de frequência que controla a armadura.
- Delimitado por um retângulo amarelo a placa geradora de pulsos de controle a esquerda e ponte retificadora controlada que controla o campo.
- Delimitado por um retângulo verde o raque com placa de fonte, interpretadora de comandos geradora de sinais para a armadura e controle de intensidade.



Figura 35 - Gabinete de controle do motor síncrono.

O sistema é um inversor que aplica à armadura tensão trifásica com frequência variável para acelerar a máquina. Já a frenagem é feita pela inversão do sentido do campo. Um esquema simplificado encontra-se na Figura 35.

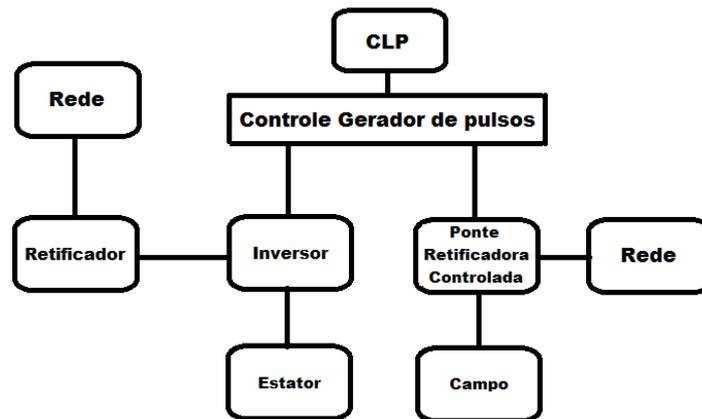


Figura 36 - Esquema Simplificado do controle do acionador primário.

A parte que controla o campo é feita por um transformador de duplo secundário que deixa a disposição duas tensões senoidais complementares, de forma que a interligação dos mesmos como mostra a Figura 37 leva a um ponto de potencial “0” (zero) a qualquer momento. De forma que para girar em um sentido o controlador ativa em sequencia S1 e S3, já para girar no sentido contrario aciona S4 e S2. Tal processo leva respectivamente à saídas apresentadas na Figura 38.

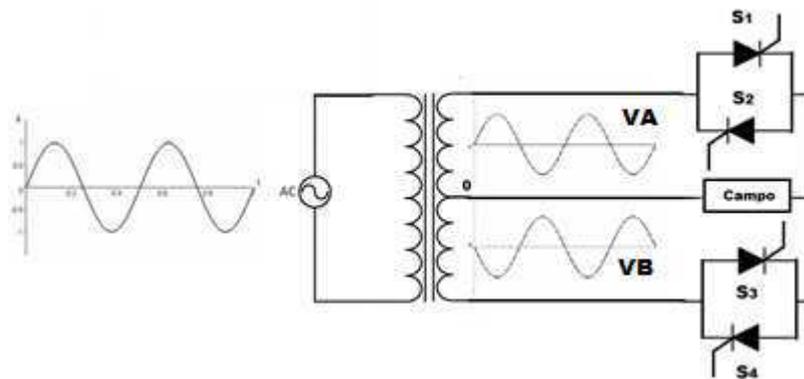


Figura 37 - Ponte Controlada que Ajusta o Sentido do Campo.

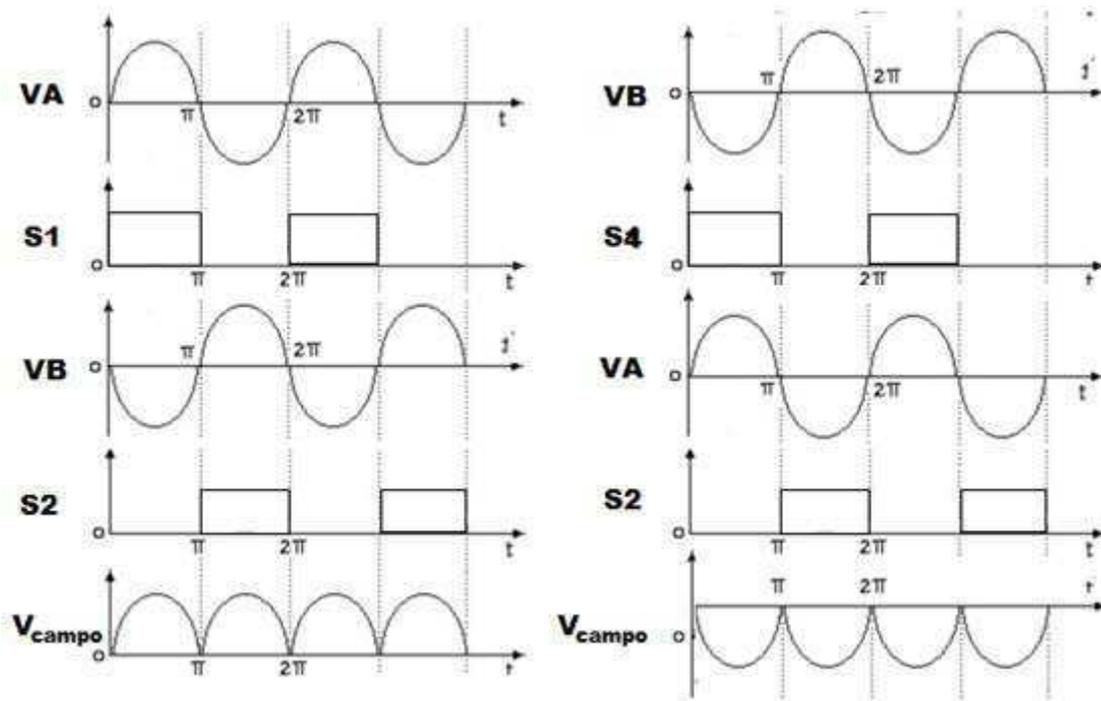


Figura 38 - Dois modos de operação possíveis.

Algumas das placas que fazem o controle são apresentadas na Figura 37. Nestas podemos observar circuitos integrados bastante antigos. Os amplificadores operacionais presentes nas placas são LM 741 [5], de corpo metálico. Outros já foram substituídos por CI's do mesmo modelo em invólucros plásticos. O grande problema não é o tipo ou o fato destes componentes estarem um pouco defasados, mas sim como estas alterações foram sendo feitas ao longo dos anos.

A Figura 38 mostra a parte posterior de uma destas placas onde vemos o desgaste e oxidação das trilhas. Muitas delas foram substituídas por fios. Além disso, podemos ver o excesso de solda nas conexões da placa. Estes graves problemas fazem com que qualquer reparo seja difícil, pois, pode haver várias partes danificadas ao mesmo tempo.

Outro agravante é a falta de um esquema das placas. Perdemos muito tempo levantando o esquema destas placas. Mas após isso se tornou bem mais fácil isolar o problema. Ao fim do processo conseguiu-se colocá-las em funcionamento.

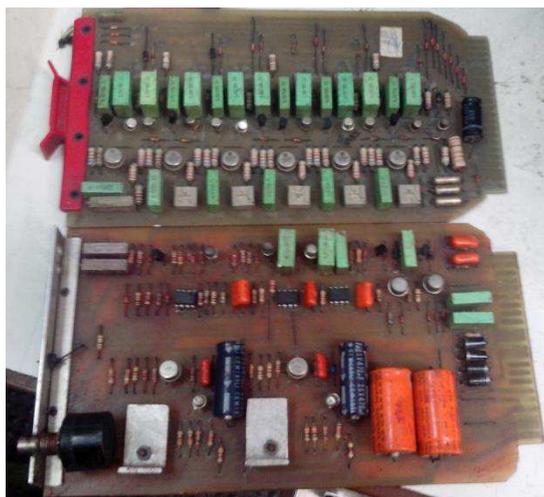


Figura 39 - Placas de Controle.



Figura 40 - Verso da Placa com Trilhas Desgastadas e Recuperadas com Fio.

5. Considerações Finais

As atividades realizadas durante este estágio foram de grande relevância no meu crescimento profissional. Tendo escolhido a área de Controle e Automação, estagiar em uma empresa onde varias as áreas da Engenharia Elétrica coexistem me permitiu um estágio muito mais amplo do que o usual. Ver de perto as falhas em equipamentos desperta a consciência da necessidade de manutenções frequentes e bem planejadas. A familiarização com os instrumentos de campo e normas utilizadas será de grande valia no futuro.

O estágio na Usina São João cumpriu com o seu objetivo que era proporcionar a aplicação dos conhecimentos adquiridos no curso de engenharia elétrica, além disso, houve um grande aprendizado sobre os processos de produção de açúcar e álcool. Os

aspectos relativos à relação interpessoal e profissional motivaram-me para o trabalho em equipe, permitindo ganhos imensuráveis no campo pessoal e profissional.

Constatou-se que a empresa como tantas do setor sucroalcooleiro encontra-se em um processo de modernização, sendo possível encontrar equipamentos antigos e por vezes sucateados. Decorre disto, o aparecimento de problemas que deixam estes inoperantes ou que diminuem o rendimento e produtividade, o que é inevitável.

Entretanto, o maior problema decorrente de equipamentos tão distintos fica claro quando os mais antigos requerem uma manutenção rápida, pois em vários casos não estão documentados, etiquetados, nem identificados, ou foram parcialmente alterados tornando-se incompatíveis com os projetos. Tornando-se este, um ponto de alerta porque somente os funcionários mais antigos podem realizar uma correção em caso de falta, o que não será necessariamente rápido, podendo comprometer a produtividade da empresa.

Os motores que não forem imediatamente instalados devem ficar ao abrigo de poeira, umidade e ter seus eixos girados pelo menos uma vez por mês para renovar a graxa no rolamento. E transformadores inoperantes poderiam ficar abrigados.

Equipamentos de medição, aferição e pesagem estão dispostos em todos os setores da usina e exercem a importante tarefa no acompanhamento da produtividade e qualidade, sendo necessário que estes operem com acurácia. Portanto sendo de responsabilidade do pessoal da instrumentação da usina que também responde pelas válvulas, atuadores, posicionadores e sensores, é necessário manter pessoal treinado em sistemas de instrumentação e automação. Para que tudo seja mantido funcionando e com maior vida útil

6. Bibliografia

[1] ANEEL, CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA, Resolução Normativa N° 414/2010,

[2] Transformador de potencial indutivo NBR 6855

[3] Transformador de corrente NBR 6856

[4] A. E. Fitzgerald; C. Kingsley Jr.; S. D. Umans, “Máquinas Elétricas”, 6ª ed., Bookman, 2006.

[5] National semiconductors, LM 741 DataSheet

[6] BEQUETE, W. B. Process Dynamics: Modeling analysis and simulation. Prentice Hall International. New Jersey USA. 1998.