

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica

# Relatório de Estágio

Aluno: Alessandro Viana Fontes  
Matricula: 29821519

Novembro de 2005

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica

## Relatório de Estágio

**Trabalho Apresentado por:** Alessandro Viana Fontes

**Empresa:** Termopernambuco S. A - Grupo Neoenergia

**Período de Estágio:** 14/02/2005 à 13/08/2005

**Orientador:** Antonio Marcus Nogueira Lima

**Supervisores:** Fernando José Teigell Gonzáles e Renato Pinto Mota

Campina Grande - Paraíba  
Novembro de 2005



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

## Agradecimentos

Agradeço a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial agradeço:

À Termopernambuco e os engenheiros Fernando Teigell, Renato Mota, Gabriel Lessa e João Pimentel pela satisfação em acrescentar informações continuamente, ampliando o meu conhecimento.

Ao orientador Antonio Marcos, pela atenção dispensada durante esta trajetória, aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG pela brilhante participação me proporcionando uma formação de base sólida em Engenharia, me dando possibilidade de absorver várias atividades no âmbito da engenharia.

A meus pais, Urquiza e Gleuse, meus irmãos, Anderson e Álvaro e família que sempre estão torcendo por minhas conquistas. A Jaqueline pela paciência e compreensão quantos as minhas ausências e momentos difíceis.

Aos meus amigos Paulo, Sócrates, Jaime, Danilo, Cléber, Flávio, Karcus e a todos os "joselitos" que sempre me apoiaram durante essa jornada.

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TERMOPERNAMBUCO S.A - GRUPO NEOENERGIA.....</b>	<b>2</b>
2.1	Termopernambuco.....	6
2.2	Características Comerciais.....	8
2.3	Localização.....	9
2.4	Estrutura Interna.....	10
<b>3</b>	<b>GERAÇÃO TERMELÉTRICA.....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>TEORIA DO CICLO COMBINADO.....</b>	<b>14</b>
4.1.1	Ciclo Brayton - Turbina a Gás.....	15
4.1.2	Ciclo Rankine - Turbina a Vapor.....	19
<b>5</b>	<b>ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>PROJETO E CONSTRUÇÃO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.....</b>	<b>25</b>
5.1.1	Localização.....	31
5.1.2	Descrição do Projeto.....	32
<b>5.2</b>	<b>INDISPONIBILIDADE.....</b>	<b>35</b>
5.2.1	Contabilizando de indisponibilidade.....	35
<b>5.3</b>	<b>MANUTENÇÃO CORRETIVA DA CHAVE SECCIONADORA 89SS</b>	<b>38</b>
<b>5.4</b>	<b>ALGUMAS OUTRAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....</b>	<b>41</b>
5.4.1	Troca de Escovas dos Geradores.....	41
5.4.2	Manutenção no intertravamento da chave de aterramento.....	41
5.4.3	Manutenção no posicionador da válvula de controle de nível do tubulão de alta pressão.....	42
5.4.4	Manutenção na casa de filtros e resfriador evaporativo da turbina a gás	43
5.4.5	Vazamento de Hidrogênio no Gerador.....	43
5.4.6	Estudo de vários sistemas de serviços auxiliares a ilha de potência	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>45</b>

# 1 Introdução

A disponibilidade de energia é um fator fundamental para o desenvolvimento das nações. Em um mundo altamente competitivo e submetido à globalização dos mercados, a energia passa a ser uma variável estratégica de desenvolvimento sobre a qual os planejadores podem e devem atuar no sentido de moldar o estilo de crescimento pretendido.

A escolha deste planejamento certamente terá implicações no sistema de produção de energia, pois esta se encontra presente em todos os aspectos do consumo final, individual e coletivo, e também como importante fator de produção em todos os setores.

Nos países em desenvolvimento a demanda por energia é pressionada por vários fatores. O primeiro deles é o crescimento demográfico. A população mundial irá crescer dos atuais 5,7 bilhões de pessoas até alcançar 8 bilhões de habitantes por volta do ano 2020, com a Ásia e América Latina contribuindo com 60% deste contingente adicional. Outro fator é o processo de industrialização, à medida que as nações gradualmente passam a consumir querosene, carvão e outros tipos de energia comercial. Um terceiro ponto é o crescimento das grandes cidades, com a intrincada rede de necessidades energéticas dos conglomerados urbanos (Reis Lineu).

De um modo geral, os combustíveis fósseis respondem por 75% das necessidades de energia do planeta. Os outros 25% são devidos a combustíveis como lenha e resíduos orgânicos. Nos meios de transporte o petróleo é soberano, contribuindo com 97% de todo o combustível usado no mundo. Só na produção de energia elétrica é que aparecem alternativas a este quadro, como as

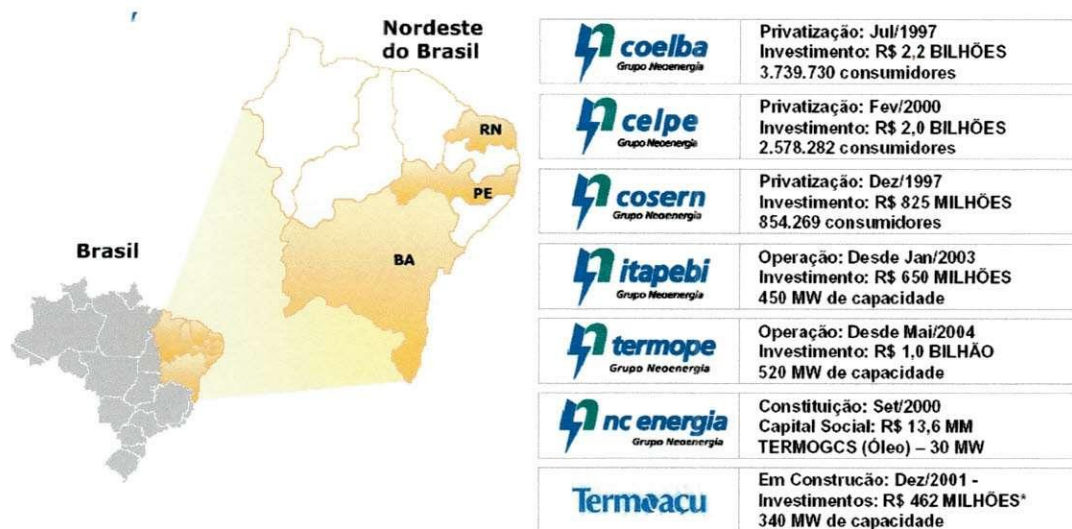
hidrelétricas (18% da produção) e as nucleares (17%). No caso das alternativas ditas renováveis, como a energia solar e a energia eólica, elas respondem por menos de 1% das necessidades de energia elétrica em todo o mundo.

O Banco Mundial estima que mais de um trilhão de dólares americanos deverá ser investido nos sistemas elétricos dos países em desenvolvimento na década de 90. O Conselho Mundial de Energia prevê que um terço dos investimentos em energia até o ano 2020 será em energia elétrica.

A necessidade de capital para expansão dos sistemas de energia elétrica gera pressões sobre os governos e sobre o sistema financeiro internacional. Majorar a capacidade elétrica instalada nos mercados emergentes e nos países em desenvolvimento irá requerer investimentos que excedem as possibilidades de financiamento dos órgãos de fomento no âmbito mundial, mesmo porque a energia elétrica não é o único setor da infraestrutura a demandar recursos.

## 2 Termopernambuco S.A - Grupo Neoenergia

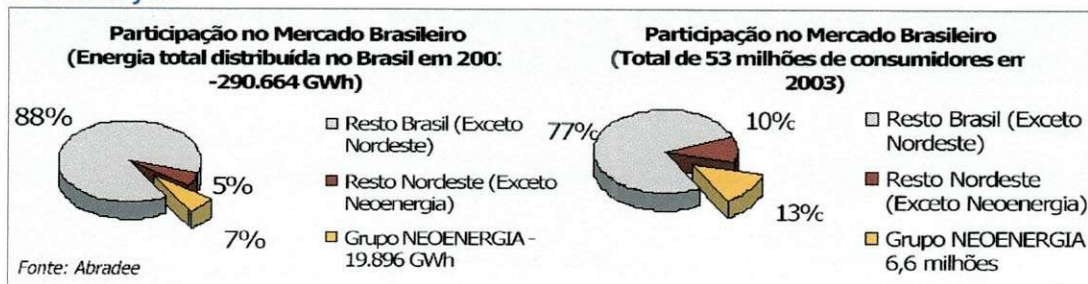
O Grupo Neoenergia é formado pelas distribuidoras Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) e Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Cosern), as geradoras Itapebi (BA), Termopernambuco (PE) e Termoçu (RN), e a comercializadora NC Energia como está ilustrado na figura 1.



**Total de investimentos da Neoenergia – R\$ 7 bilhões desde 1997 \*\***

Figura 1 - Empresas do Grupo Neoenergia

## Distribuição



## Geração

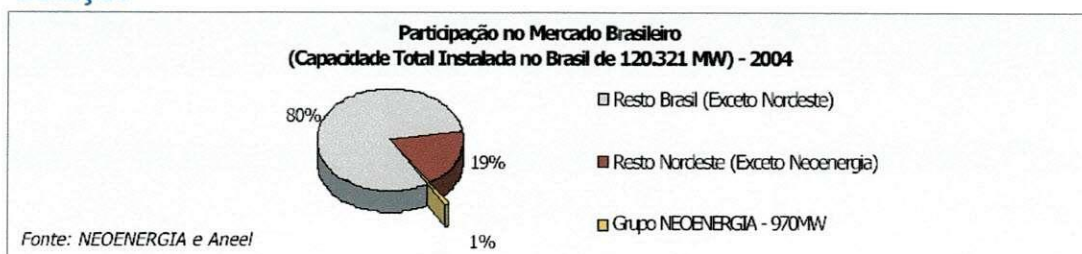


Figura 2 - Participação do Grupo Neoenergia

- Constituição do Grupo Guaraniãna -1997

A PREVI (Caixa de Previdência dos Funcionários do Banco do Brasil), a Iberdrola Energia e o BB - Banco de Investimento, constituíram o Grupo Guaraniãna com o objetivo de ser a holding controladora dos investimentos adquiridos e/ou construídos nos segmentos de energia elétrica.

- Aquisição da distribuidora de energia Coelba 1997

Com um investimento de R\$1,7 bilhão, a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba) foi a primeira distribuidora a ser adquirida pelo Grupo em leilão de privatização. Atendendo a 415 dos 417 municípios do estado, a Coelba possui atualmente mais de 3,5 milhões de clientes.

- Aquisição da distribuidora de energia Cosern 1997

Também em 1997, o Grupo adquiriu em leilão de privatização a Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Cosern). Um investimento da ordem de R\$ 674 milhões, que possibilitou ao Grupo continuar perseguindo o objetivo de atuar no segmento de fornecimento de energia elétrica. Atualmente, a Cosern atende mais de 805 mil clientes em todos os municípios do estado.

- Início da construção da Usina Hidrelétrica de Itapebi 1999



O Grupo venceu o leilão para exploração do Aproveitamento Hidrelétrico de Itapebi e criou a Itapebi Geração de Energia S. A. O empreendimento, localizado no Rio Jequitinhonha, no sul do estado da Bahia, refere-se a construção de uma barragem de 107 metros de altura e 579 metros de largura e uma capacidade instalada de geração de energia elétrica de 450 MW.

- Aquisição da distribuidora de energia Celpe 2000

O Grupo adquiriu em leilão de privatização a Companhia Energética do Estado de Pernambuco (Celpe), completando as empresas de distribuição de energia do Grupo. A aquisição da Celpe exigiu um investimento de R\$1,8 bilhão e foi fundamental para a gestão integrada dos três negócios. Hoje, a concessionária atende a mais de 2,4 milhões de clientes em todo o estado de Pernambuco, incluindo a ilha de Fernando de Noronha.

- Constituição da GCS Energia 2000

O Grupo adquiriu em leilão de privatização a GCS Energia S.A. Trazendo para o mercado um conceito inovador que proporciona maior eficiência à gestão de energia para diferentes atividades, a NC foi concebida para atender indústrias de diversos segmentos, grandes e pequenas geradoras de energia e empresas de serviços interessadas na compra e venda de energia com maior dinamismo, rentabilidade e eficácia.

- Início das obras da termelétrica Termopernambuco 2001

O Grupo iniciou as obras para construção da termelétrica Termopernambuco. O projeto teve grande preocupação com o meio ambiente, desde a escolha do local de implantação da usina até a utilização das tecnologias mais avançadas para reduzir os possíveis impactos ambientais.

- Início das obras da termelétrica Termoaçu 2001

A construção da usina termelétrica Termoaçu, no Rio Grande do Norte, foi iniciada. O empreendimento é uma parceria da Neoenergia com a Petrobrás.

- Decisivos investimentos em geração 2002

Os principais destaques foram os significativos avanços nos investimentos em geração de energia, com aplicações de recursos superiores a R\$ 1 bilhão, principalmente nas obras de construção das usinas termelétricas em

Pernambuco, a Termopernambuco e no Rio Grande do Norte, a Termoçu, além da hidrelétrica de Itapebi, na Bahia.

- Assinatura do Memorando de Entendimento 2002

Em agosto de 2003, os acionistas da Guaraniana assinaram um Memorando de Entendimento (MDE) formalizando a intenção de adequar os princípios de gestão e governança corporativa do Grupo às práticas exigidas para ingresso nos segmentos especiais de listagem de ações da BOVESPA.

- Início da operação da Itapebi Geração de Energia 2002

A Itapebi Geração de Energia iniciou sua atividade operacional. A energia é gerada através de três unidades geradoras com capacidade nominal de 150 MW cada, totalizando uma capacidade instalada de 450 MW e energia assegurada de 1.721.340 MWh/ano, com um investimento de aproximadamente R\$ 600 milhões.

- Começo da operação da Termopernambuco 2004

A Termopernambuco iniciou sua operação comercial. O projeto termelétrico constitui-se de ciclo combinado com duas turbinas a gás natural, com potência instalada de 160 MW cada, e uma turbina a vapor, com potência instalada de 212 MW.

- Início de uma nova fase 2004

O Grupo Neoenergia reestruturou a organização de forma a obter maior eficácia tanto na administração de seus negócios, quanto na satisfação dos seus clientes. Os Objetivos principais são: equilibrar a situação financeira, rentabilizar os ativos atuais e preparar o Grupo para crescer.

Em 01º de fevereiro de 2005 o Grupo Neoenergia é o primeiro a divulgar os resultados de 2004 dentre as empresas do setor elétrico, com expressivo lucro líquido de R\$ 304,8 milhões.

Na figura 2 tem-se o demonstrativo da participação do Grupo Neoenergia em distribuição e geração de energia elétrica do mercado brasileiro.

## 2.1 Termopernambuco

A Termopernambuco foi criada em decorrência da privatização da CELPE em fevereiro de 2000, cujo processo previa a obrigação de instalação de usina termelétrica a gás no Estado de Pernambuco. Sua constituição ocorreu em 25 de abril de 2000 como uma companhia de capital fechado, cujo capital social era detido majoritariamente pela CELPE e, como acionista minoritário, pela Guaraniana, atual Neoenergia.

Em 15 de dezembro de 2000, a Termopernambuco obteve autorização, mediante Resolução da ANEEL, para estabelecer-se como Produtor Independente de energia elétrica, autorização esta que vigorará por 30 anos. Com base na citada Resolução, o início da operação comercial da Termopernambuco deveria ocorrer até 31/12/2003.

Em virtude do racionamento de energia elétrica ocorrido no ano de 2001, a Companhia foi incluída no Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT), em 15 de agosto de 2001, por meio da Resolução da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica n.º 36. O PPT foi instituído pelo Governo Federal em 24 de fevereiro de 2000 e previa as usinas termelétricas que o integrassem, dentre outras, as seguintes prerrogativas:

- Garantia de suprimento de gás natural por 20 anos;
- Repasse pelas concessionárias de distribuição aos seus consumidores do valor do custo da energia adquirida das usinas termelétricas do PPT, por um período de 20 anos;
- Garantia de acesso ao Programa de Apoio Financeiro a Investimentos no Setor Elétrico do BNDES.

A estrutura financeira do projeto Termopernambuco foi planejada para ser composta por capital dos acionistas (30% do total de investimentos, empréstimo do BID no valor de até US\$ 202,4 milhões, além de empréstimo do BNDES no valor de até R\$ 264 milhões. Nesta estrutura, os credores perfariam, conjuntamente, 70% do investimento inicial no projeto.

Os investimentos necessários desde o início da construção até agosto de 2002 foram cobertos inteiramente com recursos dos acionistas. A partir de

então, o projeto teve aportes do BID, que totalizaram US\$ 130 milhões. Além do capital aportado pelo BID em 2002, a Termopernambuco recebeu aportes de capital e empréstimos subordinados da Neoenergia e CELPE, sendo que esses empréstimos subordinados foram realizados para cobrir a falta do desembolso do empréstimo do BNDES, cuja aprovação se deu apenas em 2004 e o primeiro desembolso foi realizado somente em agosto de 2005. O primeiro e único desembolso do BNDES, no valor de R\$ 93,4 milhões, foi totalmente utilizado para liquidar o empréstimo subordinado da CELPE.

Em 16 de outubro de 2003, a CELPE transferiu para a Guaraniana, atual Neoenergia, a totalidade das ações que detinha de emissão da Termopernambuco, em cumprimento à determinação da ANEEL.

Em junho de 2001 iniciaram-se as obras para a construção da usina termelétrica, após a assinatura do contrato de construção (*Engineering Procurement and Construction Contract - EPC*) com o consórcio das seguintes empresas: Construtora Norberto Odebrecht S.A., Promon Engenharia Ltda e a Inepar S.A. Indústria e Construções. A Inepar deixou de fazer parte do consórcio construtor em 2001. As ilhas de potência foram fornecidas pela *General Electric International, Inc.*, utilizando duas turbinas a gás de tipo GE 7FA 160 MW cada (em condições locais), e uma unidade a vapor, modelo D11 da GE, de 212 MW em ciclo combinado com capacidade instalada de 532 MW. A Usina começou operar em 15 de maio de 2004.

A geração de energia elétrica se dá através de duas turbinas a gás e uma a vapor como está esquematizado na figura 3. O gás natural para abastecimento das turbinas a gás é fornecido pela Copergás (figura 4), mediante contrato firmado com essa empresa, com a interveniência da Petrobrás, e a água bruta utilizada na produção de vapor é fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA fornecendo um valor mínimo de 20.000 m<sup>3</sup>/dia. Através de uma adutora construída pela Termopernambuco. Os custos com a compra de gás correspondem a quase totalidade dos custos de aquisição de insumos pela Termopernambuco. As quantidades contratadas com a Copergás são de 2.150.000 m<sup>3</sup>/ dia, tendo o contrato de fornecimento de gás o prazo de 20 (vinte) anos a contar de 31 de julho de 2002.

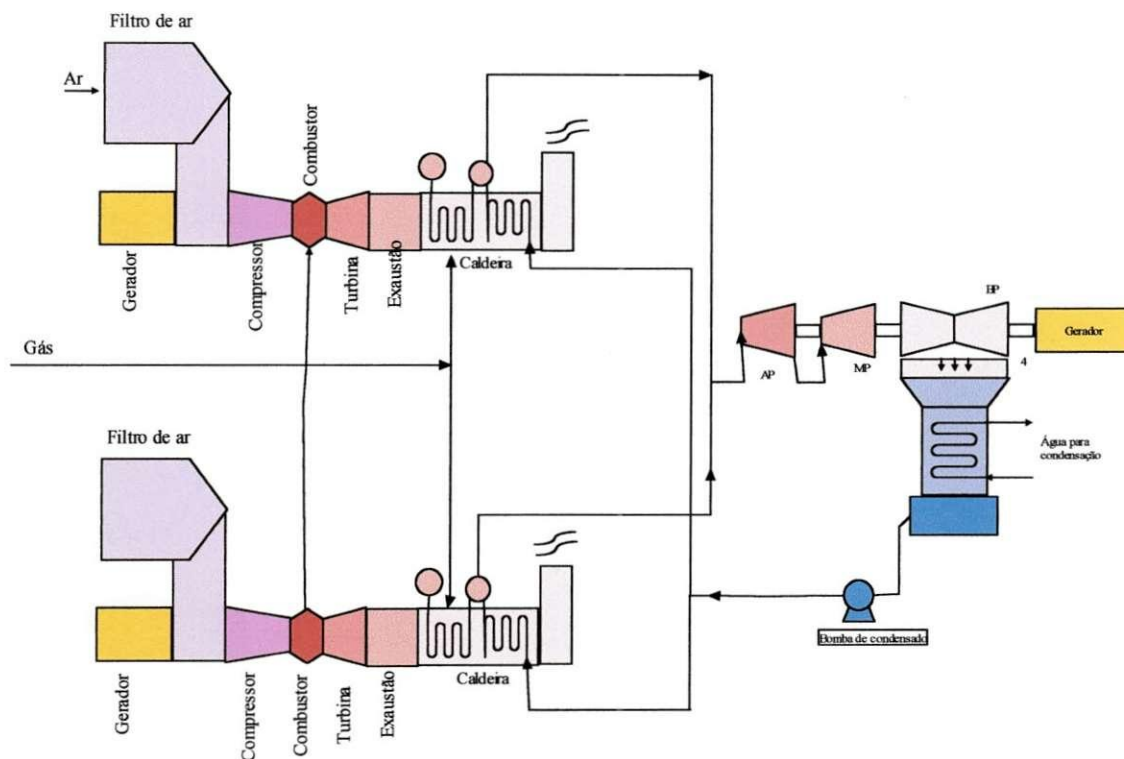


Figura 3 - Esquema simplificado do ciclo combinado da Termopernambuco

## 2.2 Características Comerciais

A Usina Termelétrica de Termopernambuco tem uma potência instalada de 532 MW. Sem a queima suplementar das caldeiras, a capacidade da instalação é de 520 MW. Tecnicamente, a distribuição da energia gerada se dá mediante a transmissão através das linhas de transmissão. O atual montante de energia comercializado pela Termopernambuco é de 455 MW, por meio de Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica (PPAs-*"Power Purchase Agreements"*), celebrados com a Companhia Energética de Pernambuco - CELPE (390 MW) que representa 85,64% de participação na Receita Bruta da Termopernambuco e com a Companhia de Eletricidade do estado da Bahia - COELBA (65 MW) que representa 14,36% de participação na Receita Bruta da Termopernambuco. Os contratos de compra e venda de energia têm prazo de 20 anos contados a partir de 2004. A CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) gerencia a compra e venda de energia no Sistema Interligado Nacional - SIN e apura mensalmente as contas de cada um dos agentes de mercado e estabelece para cada agente, entre os quais a Termopernambuco, a liquidação de créditos ou débitos. Através das características da comercialização mediante PPA, percebe-se que o mercado da Termopernambuco resume-se, sob o ponto de vista

financeiro, a CELPE e a COELBA (consumidores cativos dos estados de Pernambuco e da Bahia).

Outras relações de fornecimento de insumos e serviços são necessárias e ou obrigatórias para o funcionamento da Termopernambuco como pode ser verificado na figura 4.

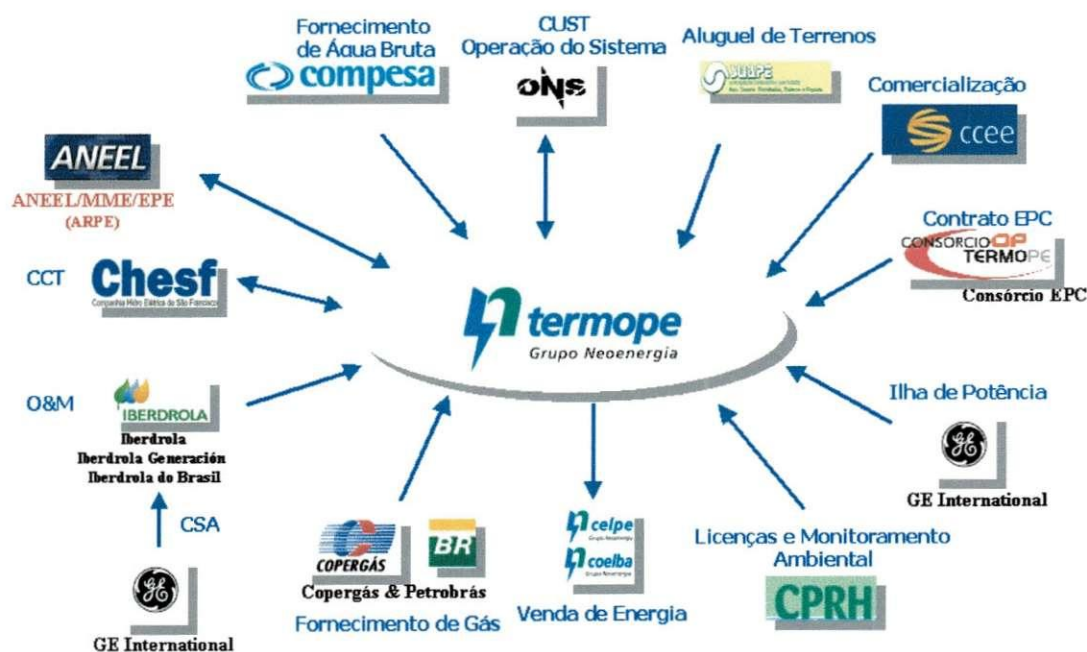


Figura 4 - Relação comercial regulatória e fornecimentos de insumo e serviços com a Termopernambuco

## 2.3 Localização

Localizada na Avenida Portuária s/nº no Complexo Industrial e Portuário de Suape (figura 5 e 6) onde dispõe de uma infra-estrutura completa para atender às necessidades dos mais diversos empreendimentos ali instalados. Além disso, as empresas contam ainda com incentivos fiscais, oferecidos pelos governos estadual e municipal, com o objetivo de estimular a geração de empregos e incrementar a economia regional. O pólo agrega uma grande variedade de transportes, através de rodovias e Porto do Suape, ferrovias internas, aliadas a um porto de águas profundas com redes de abastecimento de água, energia elétrica, telecomunicações e gás natural instaladas em todo o complexo.

O ponto de conexão com a rede básica se situa na subestação Pirapama II, propriedade da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF). A conexão com o sistema nacional se efetua por meio de uma linha de transmissão de 230 kV, de 27 km de extensão, de propriedade da Termopernambuco, que

liga a subestação da usina com a subestação Pirapama II. A linha de transmissão possui dois circuitos com capacidade de transporte de 500 MW, o que garante a disponibilidade da usina em caso de avaria ou manutenção em um dos circuitos.



Figura 5 – Termopernambuco no Porto de Suape

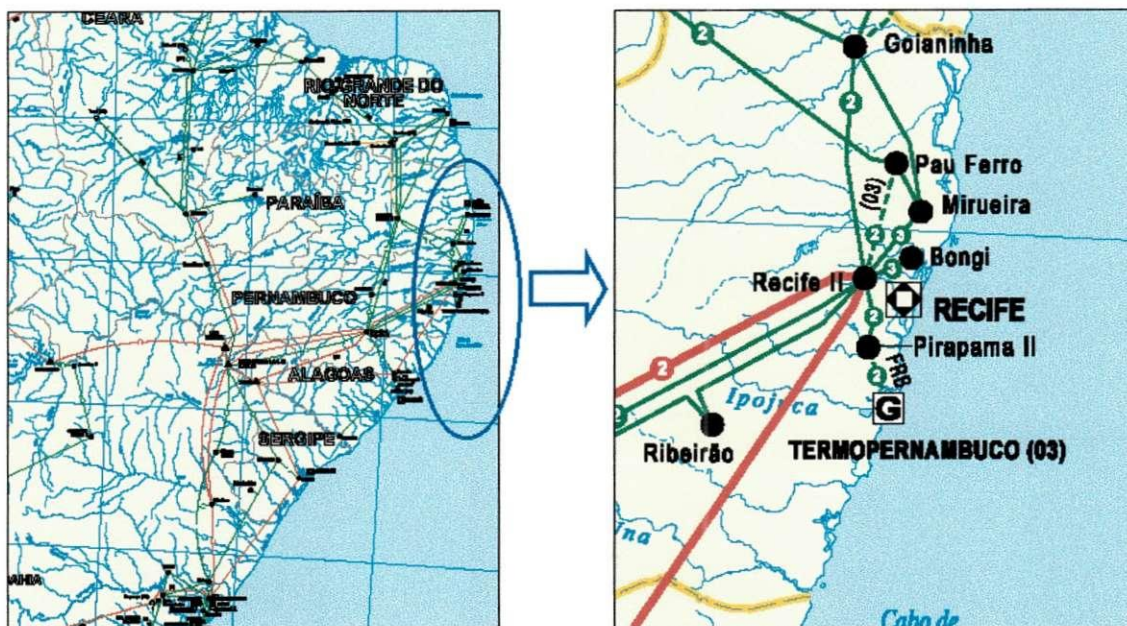


Figura 6 - Localização de Termopernambuco

## 2.4 Estrutura Interna

Como ilustrado na figura 4 a Termopernambuco tem sua como responsável pela sua operação a Iberdrola do Brasil que por sua vez têm suas terceirizadas.

Com isso a termopernambuco tem um reduzido quadro de funcionário que são responsáveis pela gestão administrativa financeira, supervisão da O&M gestão de contatos de gás, PPAs e O&M. Para isso de apenas pessoas 16 compõem o quadro de funcionários presente na planta como ilustra o organograma da figura 7.

Durante este estágio tive a oportunidade de trabalho direto com o gerente de planta (Fernando Feigell) e o gerente de energia (Renato Mota).



Figura 7 - Organograma de Termopernambuco

### 3 Geração Termelétrica

No mundo, a geração termelétrica é responsável por cerca de 80% de toda a eletricidade produzida. Tem como principais combustíveis o carvão, o gás natural, os derivados do petróleo e o urânio - usado para gerar energia termonuclear.

A hidroeletricidade foi a principal fonte de energia do Brasil até a primeira metade do século XX. A energia térmica só começou a ter presença significativa



na matriz energética a partir de 1954, quando entrou em operação a Usina Termelétrica de Piratininga, a óleo combustível, construída devido à baixa hidraulicidade da época.

Mais de uma década se passou até que, em 1965, entrou em operação a Usina Termelétrica Jorge Lacerda I, atualmente parte do maior complexo termelétrico a carvão e vapor do Brasil. Alguns anos depois, 1968, entrou em funcionamento a Usina Termelétrica Santa Cruz, de Furnas Centrais Elétricas. Duas décadas mais tarde, em 1985, foi inaugurada a Usina Termonuclear Angra I, primeira geradora a urânio do Brasil.

Entretanto, a instalação de novas geradoras só ganhou força a partir de 1999, após o apagão provocado pela redução contínua dos níveis de armazenamento de água nos reservatórios das hidrelétricas. O baixo índice pluviométrico nos dois anos anteriores e o aumento do consumo de energia ocorrido após o Plano Real ampliou o risco de novas crises no setor, dependente em 90% da hidroeletricidade. Esta situação levou o governo a lançar, em 2000, o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT).

Os principais objetivos do Ministério das Minas e Energia, ao criar o PPT, foi reduzir a dependência das condições hidrológicas desfavoráveis e diminuir a vulnerabilidade do sistema. O aumento emergencial do abastecimento de energia contribuiu para evitar o risco de racionamento no verão de 2001. Para isso a implantação de usinas termelétricas, em caráter emergencial, e as usinas integrantes tem as seguintes prerrogativas: garantia de suprimento de gás natural, pelo prazo de 20 anos, de acordo com regras do MME; garantia de aplicação do valor normativo à distribuidora de energia elétrica, por um período de 20 anos, de acordo com a regulamentação da Aneel; garantia pelo BNDES de acesso ao Programa de Apoio Financeiro a Investimentos Prioritários no Setor .

O Brasil tem investido em termelétricas por diversas razões. Dentre elas, porque há um esgotamento das fontes de energia hidrelétrica nas proximidades dos grandes centros, elevando os custos dos novos projetos, localizados cada vez mais longe dos centros de consumo. Rigorosas exigências ambientais

também têm contribuído para torná-las mais caras e aumentar o tempo de implantação.

Além de próximas dos grandes centros consumidores, as térmicas podem ser construídas num prazo de um a três anos. Uma hidrelétrica leva de cinco a sete anos para ficar pronta.

As projeções do consumo de eletricidade e as perspectivas de expansão do sistema elétrico em todo o mundo indicam que as participações dos óleos combustíveis, da hidroeletricidade e da energia nuclear (esta inclusive em termos absolutos) devem cair nos próximos 20 a 25 anos. Por outro lado, as participações do gás natural e fontes renováveis (exceto hidroeletricidade) tendem a crescer, mantendo-se aproximadamente constante a participação do carvão mineral.

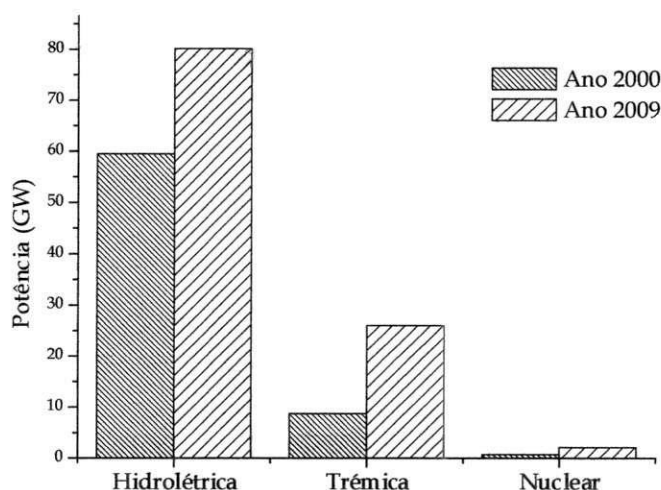


Figura 8 - Geração de energia elétrica no Brasil

Para atender ao crescimento da demanda, além da hidroeletricidade, cujo potencial remanescente é expressivo – o Brasil só utiliza 25% de sua capacidade, novas opções de geração termelétrica, especialmente a gás natural e carvão mineral, podem se revelar atrativas ao investidor, em face da disponibilidade destes combustíveis no mercado brasileiro. Com uma potência instalada próxima a 69 GW, o setor elétrico brasileiro experimenta um crescimento da ordem de 4,2% ao ano, devendo ultrapassar a casa dos 100 mil MW em 2009, figura 8.

## 4 Teoria do Ciclo Combinado

As usinas fósseis e nucleares são classificadas como usinas geradoras térmicas porque queimam algum tipo de combustível para gerar energia calorífica. Em seguida, a energia calorífica é convertida em energia elétrica por uma máquina térmica. Em sua grande parte, a produção de energia na usina geradora requer a conversão de energia térmica em energia mecânica por alguma modalidade de máquina térmica. É possível definir uma máquina térmica como um dispositivo que funciona em um ciclo termodinâmico e cria determinada quantidade de trabalho positivo efetivo, como resultado da transferência de calor de um corpo de alta temperatura para um corpo de baixa temperatura. Esse é o método mais comum pelo qual a transferência de calor é utilizada para liberar energia continuamente. Para produzir energia de modo contínuo, é necessário organizar seletivamente uma seqüência de processos termodinâmicos em um ciclo, formando uma curva fechada em um sistema de coordenadas termodinâmicas. Um ciclo significa uma seqüência de processos termodinâmicos que retorna um fluido motor a seu estado original. A máquina térmica utiliza um fluido motor, vapor, ar, etc. através de um ciclo, para alterar a transferência de calor e, com isso, criar força útil. Geralmente, essa conversão de energia ocorre através de um ciclo de Rankine. Esse ciclo é uma seqüência de processos em que um fluido é usado para converter a energia calorífica em energia mecânica. Normalmente, esse fluido é água/vapor. Um ciclo de Rankine, que usa esse processo, normalmente consiste em uma caldeira, turbina e um condensador. Devido à grande quantidade de perdas ocorridas no ciclo, os rendimentos normais do ciclo de Rankine da usina ficam entre 27% e 35%.

O outro ciclo pertinente à configuração do ciclo combinado é o ciclo de Brayton, também conhecido como ciclo de turbina a gás. As primeiras versões do ciclo de turbina a gás eram muito ineficientes, operando em torno de 15%. Algumas melhorias surgidas em meados de 1900 aumentaram essa eficiência para cerca de 25%, patamar em que se manteve até meados dos anos setenta. Atualmente, as turbinas a gás apresentam uma eficiência em torno de 38% a 45% no modo de ciclo simples. Como é possível constatar, cada um desses ciclos funcionando isoladamente tem suas vantagens e desvantagens. Embora

menos eficiente, a operação do ciclo de Rankine pode ser mais barata, porque o custo do combustível, como o carvão, pode sair mais em conta do que o gás ou óleo obrigatórios no ciclo de Brayton.

Um sistema de ciclo combinado é um meio de reter uma grande quantidade de calor que, de outra forma, desapareceria. O sistema de ciclo combinado converte o calor dos gases de escape da turbina a gás em vapor. O vapor da HRSG (Caldeira de recuperação de calor e geração de vapor) aciona uma turbina a vapor, o que, por sua vez, liga um gerador para produzir energia elétrica adicional como ilustra a Figura 9. Portanto, o ciclo combinado é mais eficiente do que uma turbina a gás ou a vapor isoladamente.

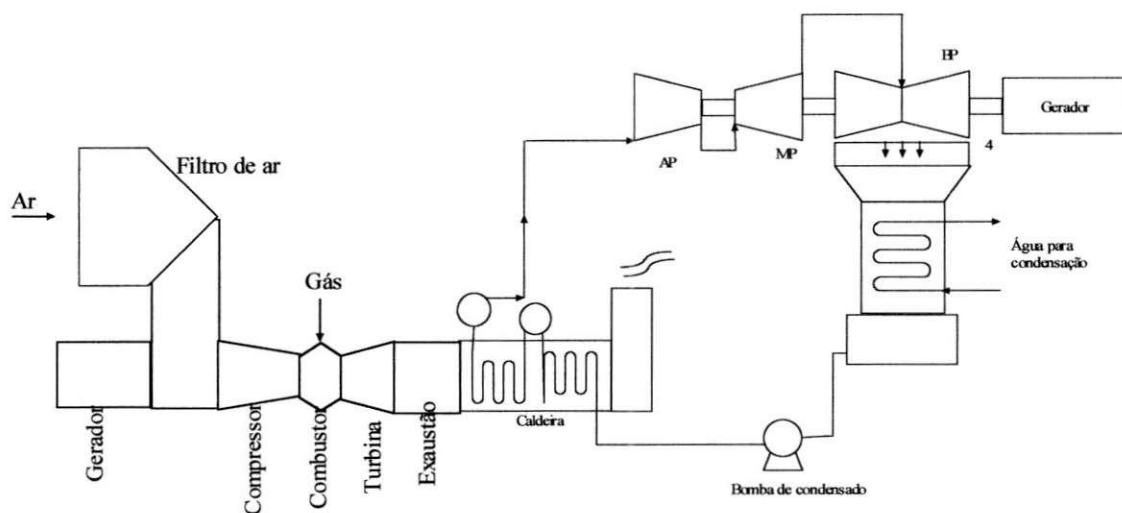


Figura 9 - Ciclo combinado

### 4.1.1 Ciclo Brayton - Turbina a Gás

O ciclo da turbina a gás é um ciclo de fluxo constante, com uma adição constante de energia calorífica. O ciclo de trabalho de Brayton, assim denominado em homenagem a George Brayton, é o ciclo termodinâmico ideal que se aproxima do funcionamento de uma turbina a gás. A Figura 11 ilustra o ciclo de Brayton ideal aberto ao ser demarcado pelas coordenadas de temperatura e entropia. O ar é comprimido do ponto 1 para o 2, nessa aplicação, por meio de um compressor de fluxo axial. O combustível e uma fonte de ignição são incluídos subseqüentemente, resultando em combustão e, em

última análise, na adição de calor ao sistema entre os pontos 2 e 3. A carga é extraída pela turbina seguindo entre os pontos 3 e 4 devido à expansão dos gases quentes da combustão. É importante observar que o trabalho gerado pela turbina ultrapassa o trabalho consumido pelo compressor pela curva entre os pontos 1 e 2. Em consequência disso, é produzido um trabalho mecânico que é usado para girar um gerador elétrico.

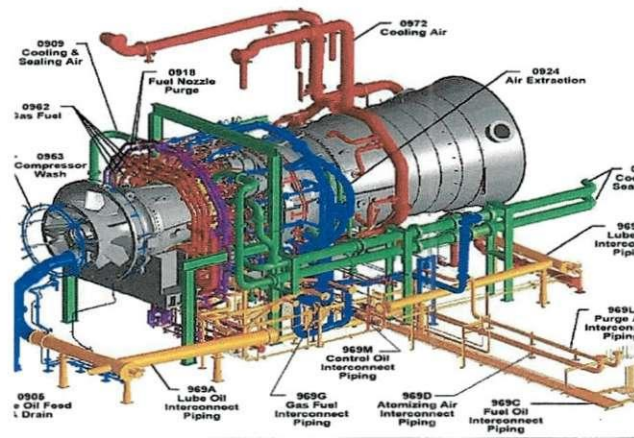


Figura 10 - Turbina a Gás

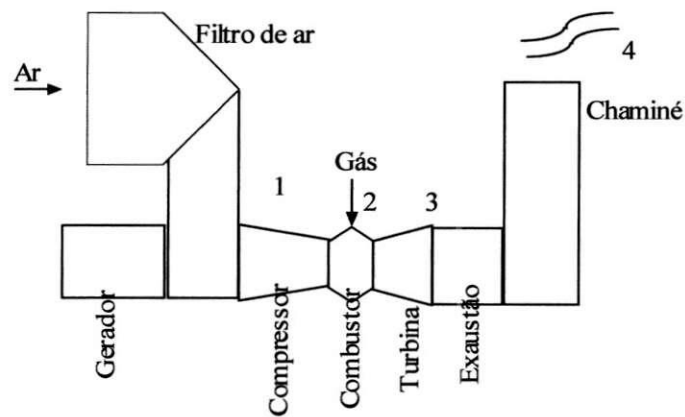
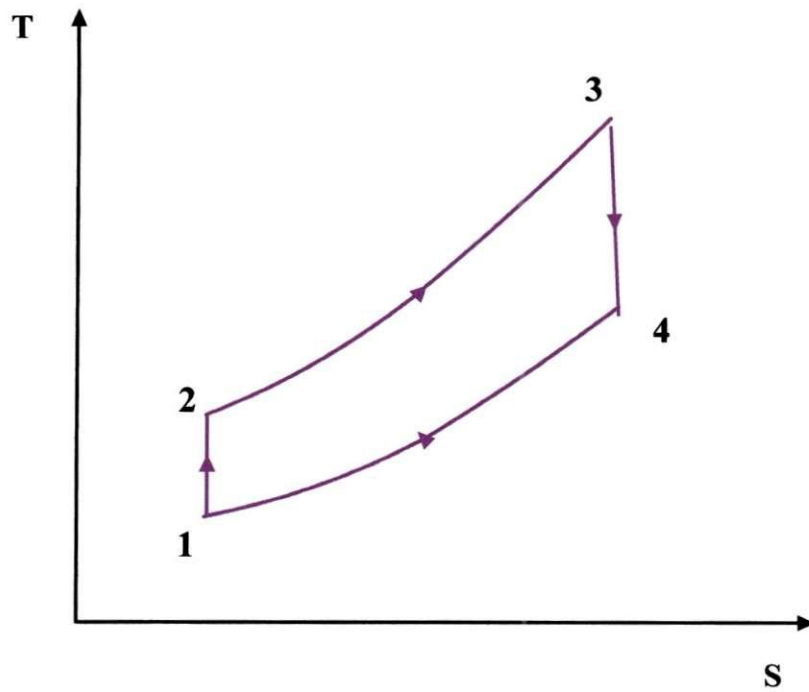


Figura 11 - Ciclo de Brayton

- Compressor (entre os pontos 1 e 2) (figura 12)

No ciclo aberto, o fluido motor é o ar atmosférico e o processo de rejeição do calor ocorre na atmosfera quando a exaustão da turbina é descarregada pela chaminé. O ar é comprimido para várias atmosferas por meio de um compressor multiestágio de fluxo axial. A estrutura do compressor exige uma aerodinâmica altamente sofisticada para que o trabalho necessário à compressão do ar se restrinja ao mínimo, para extrair o trabalho máximo possível da turbina. Na estrutura de todo compressor é particularmente interessante a possibilidade de gerenciar a parada repentina dos componentes

de sua aerodinâmica. Ao dar partida na turbina a gás, o compressor deve funcionar da velocidade zero até a velocidade máxima. É fundamental controlar o fluxo de ar variável dentro do compressor, para evitar enguiçar durante a operação em velocidade das peças, e que esse enguiço seja definitivamente impedido quando em velocidade máxima. Durante o funcionamento em baixa velocidade, as pás-guia de admissão são fechadas para limitar o volume de ar fluindo pelo compressor, e são feitas drenagens do ar do compressor em um ou mais estágios. Isso reduz o fenômeno de estol (perda) durante a operação em velocidade das peças, e a aerodinâmica do compressor é tal que, à velocidade máxima, nenhum estol deve ocorrer. Como existe margem suficiente entre as condições operacionais normais e as condições que resultam em estol, a turbina a gás não enfrenta perdas durante a operação normal em velocidade máxima.



**Figura 12 - Compressor**

- O combustor (entre os pontos 2 e 3)

O combustor de uma turbina a gás é o dispositivo que aceita o ar altamente comprimido do compressor e o combustível de uma fonte de abastecimento de combustível, para que uma combustão contínua possa ocorrer. Essa combustão deve acontecer com um mínimo de queda de pressão e emissões geradas. O processo aumenta a temperatura do gás de trabalho para cerca de 1300°C. Esse gás de temperatura muito alta flui do combustor para a turbina.

- Turbina a gás (entre os pontos 3 e 4) (Figura 10)

Na turbina, esse trabalho é extraído do fluido motor de alta temperatura e alta pressão à medida que ele volta à pressão atmosférica. Quando o gás sai do combustor, a temperatura está muito acima da do ponto de fusão dos materiais de construção, nos bicos e nas pás do primeiro estágio. O resfriamento prolongado dos estágios iniciais da turbina é fundamental para assegurar a adequada durabilidade do componente. À medida que o gás atravessa os bicos e as pás da turbina, a temperatura e a pressão caem, uma vez que a energia térmica no gás é convertida em trabalho mecânico rotativo. Durante o resfriamento do gás quente, ele continua se expandindo depois de atravessar a turbina. Nesse ponto, sua temperatura ainda pode ser  $565^{\circ}\text{C}$  que é muito acima da temperatura das condições ambientais iniciais.

A temperatura elevada do gás de escape indica que ainda existe energia suficiente para ferver e superaquecer a água em uma central de ciclo combinado. O uso dessa energia de escape aumenta consideravelmente os rendimentos do ciclo entre os sistemas de ciclo simples e de ciclo combinado.

#### **4.1.2 Ciclo Rankine - Turbina a Vapor**

O ciclo de trabalho termodinâmico básico ideal relacionado à turbina a vapor é o ciclo de Rankine. Enquanto o fluido motor no ciclo de Brayton para a turbina a gás é o ar, o ciclo da turbina a vapor usa a água/vapor. Os processos termodinâmicos deste ciclo são idênticos aos do ciclo de Brayton: 1) compressão sem transferência de calor; 2) adição de calor a temperatura constante; 3) expansão do fluido sem transferência de calor e 4) rejeição do calor a uma pressão constante. A diferença entre os ciclos de Brayton e Rankine reside no fato de que o de Rankine deve usar um trocador de calor no processo de adição de calor. O sistema também emprega um trocador de calor (condensador) no processo de rejeição de calor.

A Figura 13 apresenta um diagrama do ciclo de Rankine, de acordo com as coordenadas de temperatura-entropia. O ciclo de trabalho a vapor simples ocorre em quatro componentes, cada qual com um processo termodinâmico próprio. Primeiro, a compressão sem transferência de calor ocorre em uma bomba (1 para 2) para aumentar a pressão da água de alimentação



suficientemente para transferi-la para a caldeira (HRSG - recuperação de calor e gerador de vapor). Em seguida, a adição de calor (a pressão constante) ocorre no HRSG (2 para 3), para formar o vapor. Depois, ocorre na turbina a expansão sem transferência de calor (3 para 4), para gerar trabalho na forma de potência do eixo. Por último, ocorre a rejeição do calor a pressão constante (um vácuo) em um condensador (4 para 1).

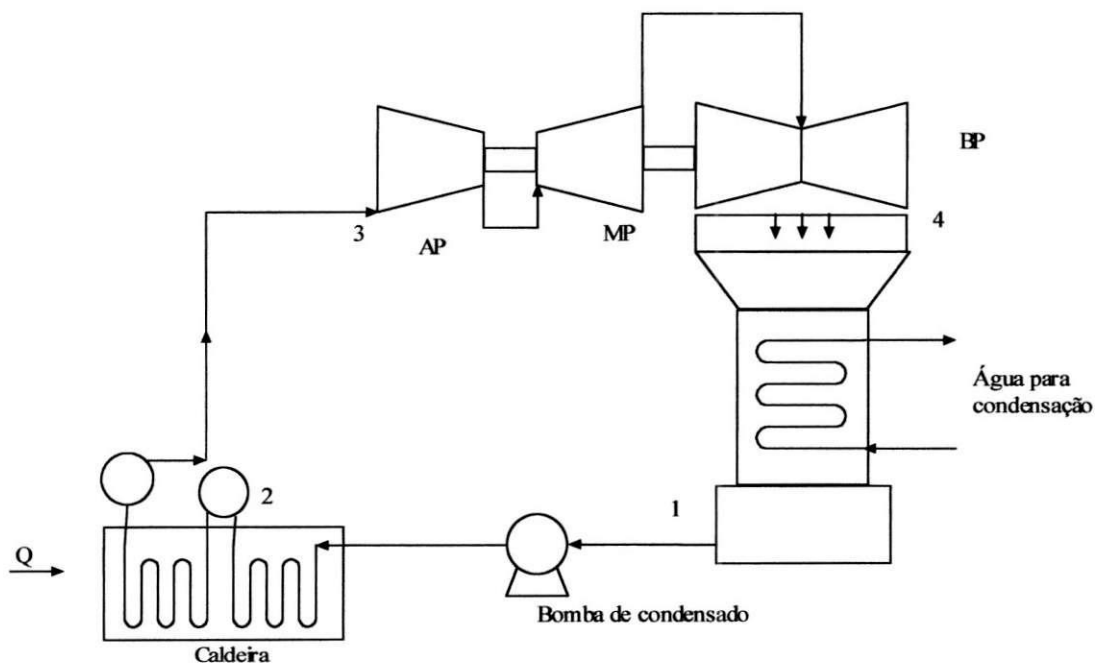
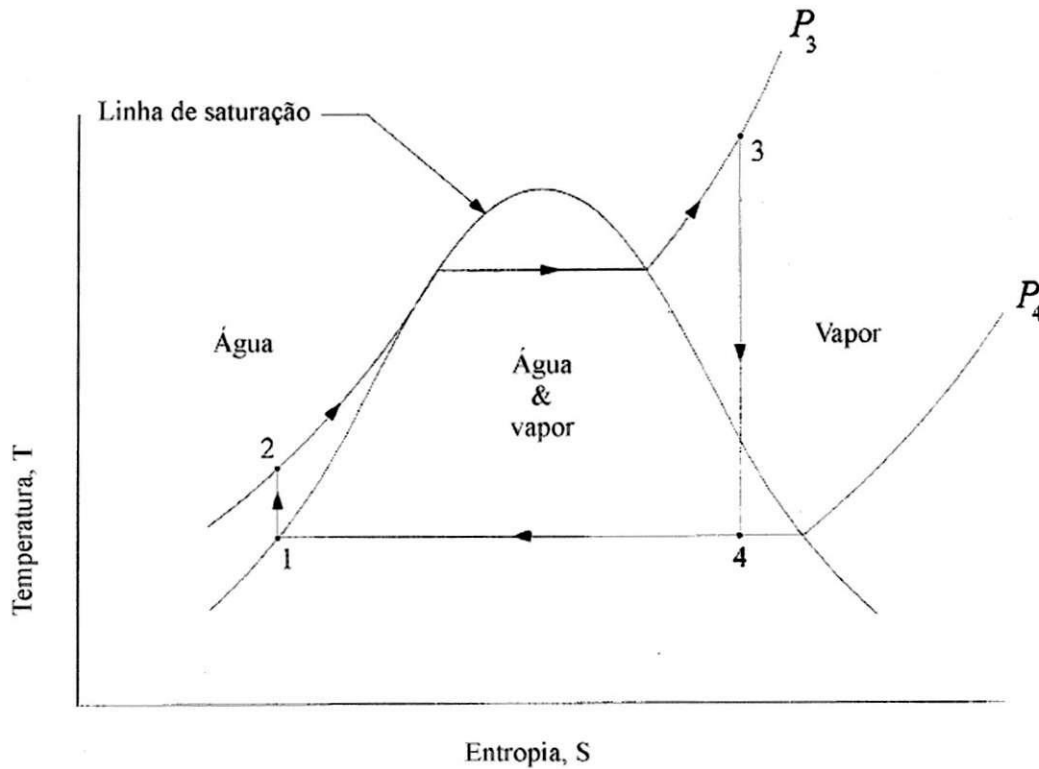


Figura 13 - Ciclo de Rankine

- Caldeira de Recuperação (figura 14)

As caldeiras de recuperação são equipamentos especialmente desenvolvidos para o aproveitamento do calor residual, de sistemas ou processos, para a geração de vapor ou aquecimento de fluido térmico. Esses equipamentos podem apresentar variações construtivas que permitem a obtenção de ciclos de vapor com características diversas. Se for necessário um aumento na quantidade de vapor gerada, elevação de pressão ou temperatura, atendimento de picos de carga ou mesmo para cargas contínuas, pode-se instalar queimadores suplementares.

O HRSG é um sistema de geração de vapor do tipo circulação natural, não disparado, reauecido e de estágios de três pressões, com um reauecedor de pressão intermediária, supraquecedores de alta pressão, pressão intermediária e baixa pressão, e economizadores de água de alimentação. A carcaça do HRSG direciona o gás quente na horizontal, da exaustão da turbina a gás ao redor de supraquecedores montados na vertical, reauecedores, evaporadores e feixes de tubos do economizador. A carcaça do HRSG direciona o fluxo do gás de escape para a atmosfera, através da chaminé. O calor do gás de escape é transferido para o feixe de tubos dos trocadores de calor no HRSG. O feixe de tubos do aquecedor da água de alimentação serve para pré-aquecer a água de alimentação antes de sua admissão nos tubulões. A partir desse ponto, a água de alimentação ferve na seção do evaporador, gerando vapor nos tambores. O vapor dos tambores é aceito nos tubos do supraquecedor, elevando a temperatura do vapor antes de entrar na turbina a vapor. Esse vapor supraquecido, gerado pelo HRSG, é canalizado para a turbina a vapor por meio do sistema de vapor principal.

Um cuidado fundamental no uso de uma caldeira de recuperação, é a necessidade da existência de um sistema de derivação para descarga direta na atmosfera, ou em outro local mais adequado, dos gases quentes. Este recurso, que deve ser utilizado pelo menor espaço de tempo possível é necessário para

resolver eventuais problemas no equipamento ou cumprimento da programação de manutenção.

Deve-se tomar cuidado com a ocorrência de processos de corrosão, devido à baixa temperatura dos gases de exaustão e perdas de pressão dos gases, para que o equipamento ou sistema que fornece calor não seja prejudicado em seu funcionamento.

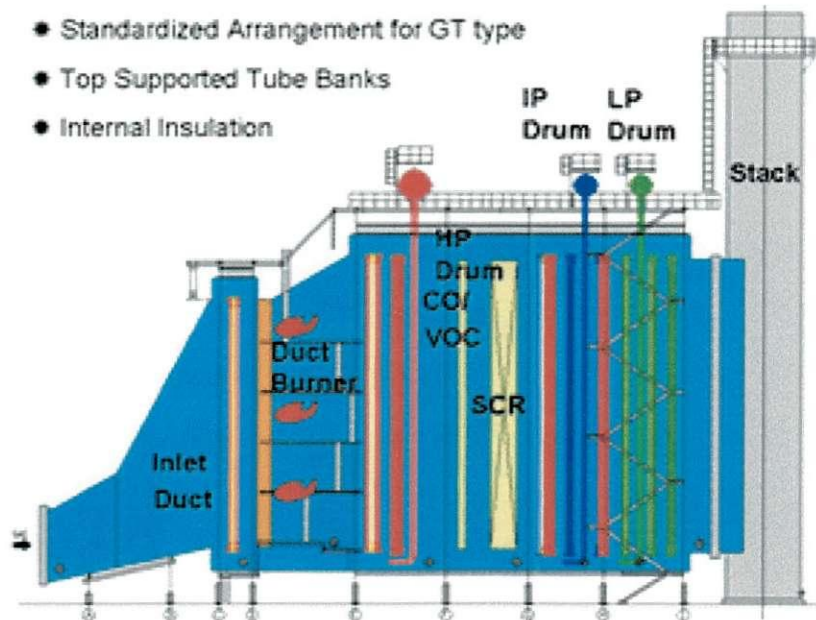


Figura 14 - Caldeira de recuperação de calor e geração de vapor (HRSG)

- Turbina a Vapor (Figura 15)

Uma turbina a vapor é um motor térmico rotativo no qual a energia térmica do vapor, medida pela entalpia, é transformada em energia cinética

devido à sua expansão através dos bocais. Esta energia então é transformada em mecânica de rotação devido à força do vapor agindo nas pás rotativas.

As turbinas a vapor podem ser classificadas quanto ao número de estágios, em simples ou de múltiplos estágios. Como o rendimento do equipamento aumenta com a diminuição do salto térmico por estágio, as turbinas de múltiplos estágios apresentam rendimentos consideravelmente maiores que as de simples estágio.

As centrais termoelétricas a vapor, que normalmente utilizam turbinas de múltiplos estágios, trabalham com temperaturas de vapor da ordem de 560°C. Essas instalações podem apresentar um rendimento térmico, em determinadas condições, da ordem de 36%.



**Figura 15 - Turbina a vapor**

- Condensador e bombas

O sistema de condensados condensa a exaustão da turbina a vapor e outro vapor recuperável. O condensado e os drenos do ciclo recuperável são

coletados no poço quente e bombeados para o pré-aquecedor de água de alimentação de cada HRSG. O condensador remove os gases não condensáveis e faz a desaeração da água de reposição do ciclo durante a operação.

O sistema de condensados tem uma função secundária de resfriar o condensador da caixa de vedação e os condensadores dos ejetores de ar. O condensado atravessa os tubos da carcaça e os trocadores de calor dos tubos captando o aquecimento rejeitado pelos sistemas de selo de vapor e de extração do ar.

O condensado é recebido do depósito de condensados, que o coleta à medida que o vapor é condensado no condensador da superfície. Esse vapor procede da exaustão da turbina a vapor, das derivações da turbina a vapor ou de outras fontes de vapor recuperáveis. O sistema de condensados também recebe água dos trocadores de calor de gás combustível, do sistema de água de reposição e de drenos de outros sistemas, que podem ser reciclados de volta para o sistema de condensados.

O condensado coletado no tanque do condensador é fornecido para a sucção da bomba de condensados, bombeado para os economizadores de baixa pressão, onde é adicionado mais calor antes de entrar no tubulão de baixa pressão.

## **5 Atividades Desenvolvidas**

O estágio realizado no período de 14/02/2005 a 17/08/2005 baseou-se em acompanhar atividades relacionadas à operação e manutenção (O&M) com o intuito de auxiliar engenheiros da Termopernambuco na supervisão da O&M. Para isso durante boa parte desse período, tive como principais atividades, o estudo e o acompanhamento da manutenção e operação de sistemas vitais para o funcionamento da planta e assim, adquirir a sensibilidade para avaliar o funcionamento dela. Em paralelo, outras atividades foram desenvolvidas: o entendimento da complexa sistemática de regulação de comercialização de energia e fornecimento de gás, a elaboração do projeto e construção de um sistema de monitoramento da qualidade no ar e análise de ocorrências que levassem a planta a algum tipo de indisponibilidade que seria contabilizada para avaliação da operação e manutenção.

Serão apresentadas algumas atividades relevantes e de boa reportabilidade.

## 5.1 Projeto e construção de sistema de monitoramento da qualidade do ar

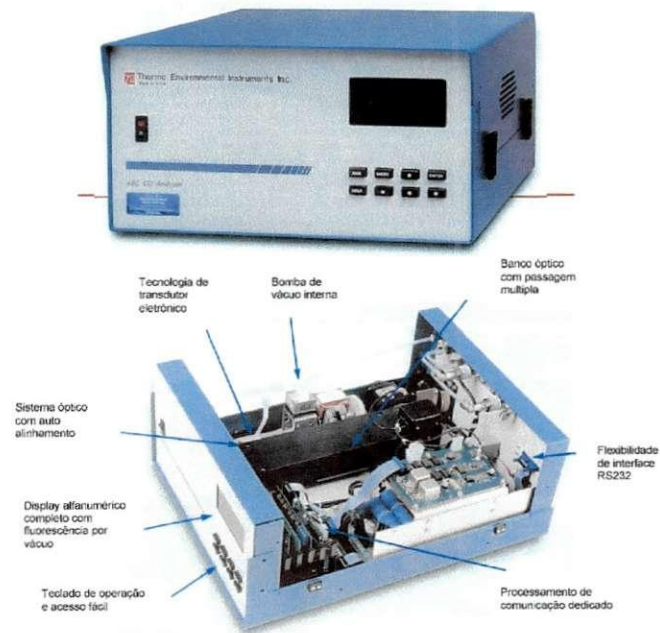
Considerando a necessidade de atender aos padrões para lançamento de emissões atmosféricas, estabelecidos nas legislações pertinentes, foram previstos, na fase de projeto da Termopernambuco, a otimização de equipamentos, tais como combustores de baixa emissão de óxidos de nitrogênio (NOX), e a especificação do combustível a ser utilizado. Cada uma das duas chaminés da Termopernambuco possui um Sistema de Monitoramento Contínuo de Emissões (CEMS), que determina e registra os níveis de NOX, monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>) e opacidade que se emitem através das mesmas. A detecção de infra-vermelho não dispersivo (NDIR) pode ser usada para medir monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Além do CEMS, a Termopernambuco conta também com uma moderna estação de monitoramento contínuo da dispersão de NOX, CO, O<sub>3</sub> e material particulado PM<sub>10</sub>, localizada no ponto extremo do seu terreno que será descrita a seguir.

- Analisador de CO por correlação de filtro de gás (NDIR) modelo 48C

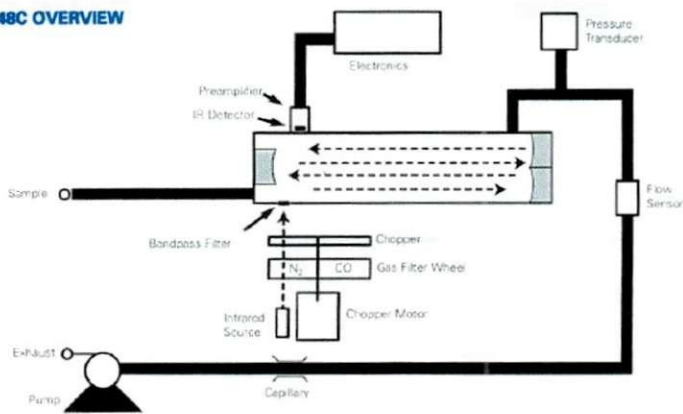
O Modelo 48C Thermo Environmental Instruments usa um microprocessador central, o qual, em conjunto com um microprocessador auxiliar dedicado à comunicação e transdutores eletrônicos, permite que os parâmetros principais sejam acessados remotamente. O projeto analítico do Modelo 48C é um expectômetro não dispersivo, com correlação de filtro de CO, sistema óptico com auto alinhamento, banco óptico aquecido de passagem múltipla e proteção contra vibração.

Segundo mostrado na figura 16, a radiação de uma fonte infravermelha é cortada (chopped) e passa através de um filtro de gás que alterna entre CO e N<sub>2</sub> devido à rotação da roda filtrante.

A radiação passa então por um filtro de banda estreita e uma célula de passagem múltipla onde ocorre a absorção pelo gás amostrado. A radiação IV sai da célula atingindo um detector de IV de estado sólido. Outros gases não causam modulação do sinal de detecção já que absorvem os feixes de medição e referência da mesma maneira. Portanto o Modelo 48C responde única e especificamente a CO.

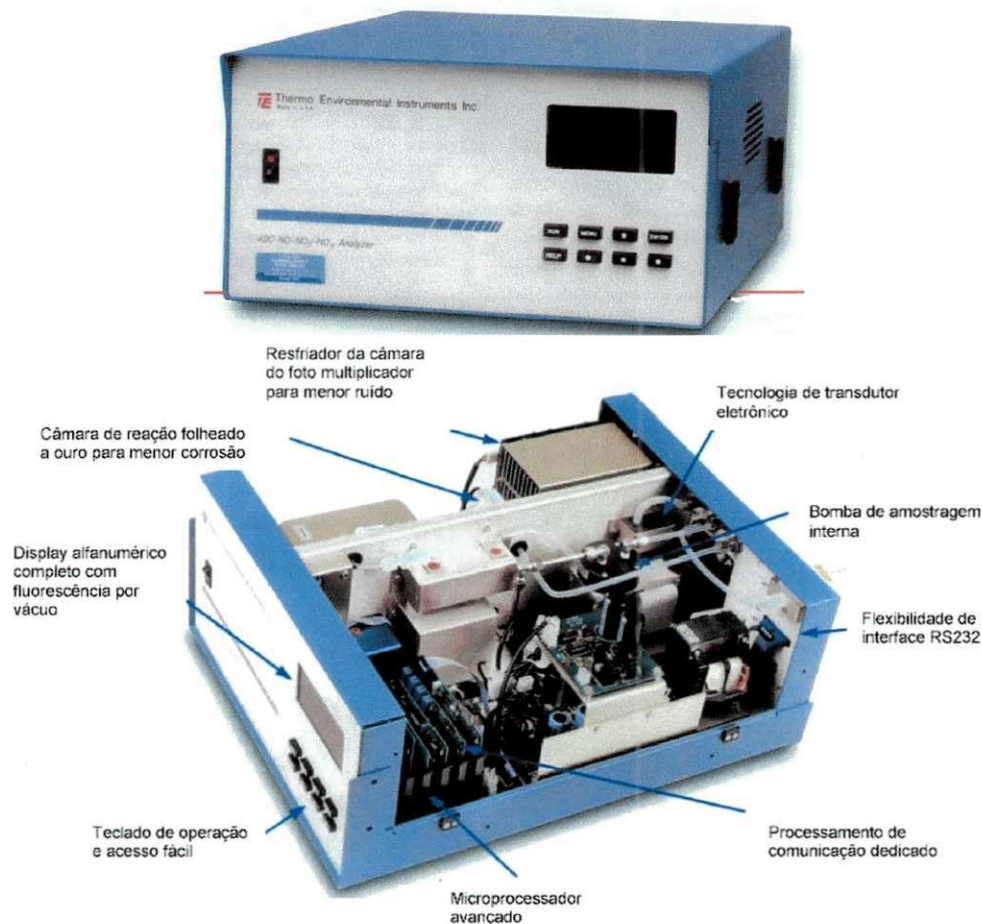


**MODEL 48C OVERVIEW**



**Figura 16 - Analisador de CO**

- Analisador de NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> por quimioluminescência modelo 42C



#### MODEL 42C FLOW SCHEME

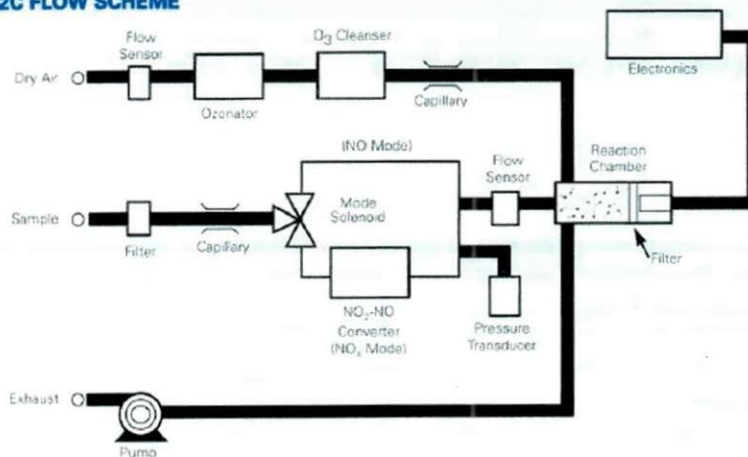


Figura 17 - Analisador de NO,NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

O Modelo 42C usa um microprocessador central, o qual, em conjunto com um microprocessador auxiliar dedicado à comunicação e transdutores eletrônicos, permite que os parâmetros principais sejam acessados remotamente.

O gás (ar) amostrado passa primeiramente por um filtro de partículas, em seguida por um capilar e finalmente por uma válvula solenóide. No Modelo



42C, a válvula envia a amostra diretamente para uma câmara de reação (modo NO) ou para um conversor de NO<sub>2</sub> para NO e depois para a câmara de reação (modo NO<sub>x</sub>). Nela, o NO reage com o ozônio, produzindo a quimioluminescência característica. Um sensor de vazão especialmente projetado, antes da câmara de reação, mede a vazão total de amostragem como esquematizado na figura 17.

O Modelo 42C é do tipo de câmara única e de fotomultiplicador único e automaticamente cicla entre os modos NO e NO<sub>x</sub>. Os sinais do tubo fotomultiplicador são condicionados e enviados ao microprocessador, onde um algoritmo matemático complexo é utilizado para calcular as três saídas individuais: NO, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Com este algoritmo, são possíveis medições mais precisas de amostras com concentrações variáveis de NO/NO<sub>2</sub>.

- Analisador de O<sub>3</sub> por fotometria U.V

O Modelo 49C usa um microprocessador central, o qual em conjunto com um microprocessador auxiliar dedicado à comunicação e transdutores eletrônicos, permite que os parâmetros principais sejam acessados remotamente. Possui um projeto de fotometria com célula dupla simétrica pela qual uma medição simultânea de zero e da amostra resultam numa especificidade aumentada para Ozônio.

O cancelamento, em tempo real, de possíveis compostos interferentes ocorre através do processo cíclico mostrado no diagrama abaixo. No início do ciclo, a amostra entra numa célula e o ar de referência (amostra com o ozônio retirado) entra na segunda célula. Os detetores medem a intensidade da luz transmitida através das duas células. Na segunda parte do ciclo, as duas células trocam de função mediante válvulas solenóides. Ilustrado na figura 18.

Portanto, é cancelada qualquer absorção da energia U.V. por compostos químicos que não sejam Ozônio.

Sensores especiais de vazão monitoram as vazões de referência de amostragem nas células. A correção automática de temperatura e pressão fornecem medidas de concentração de Ozônio mais precisas.

Adicionalmente, o ambiente, regulado termicamente, da lâmpada minimiza o desvio do Zero e mantém um alto nível de estabilidade no sinal.

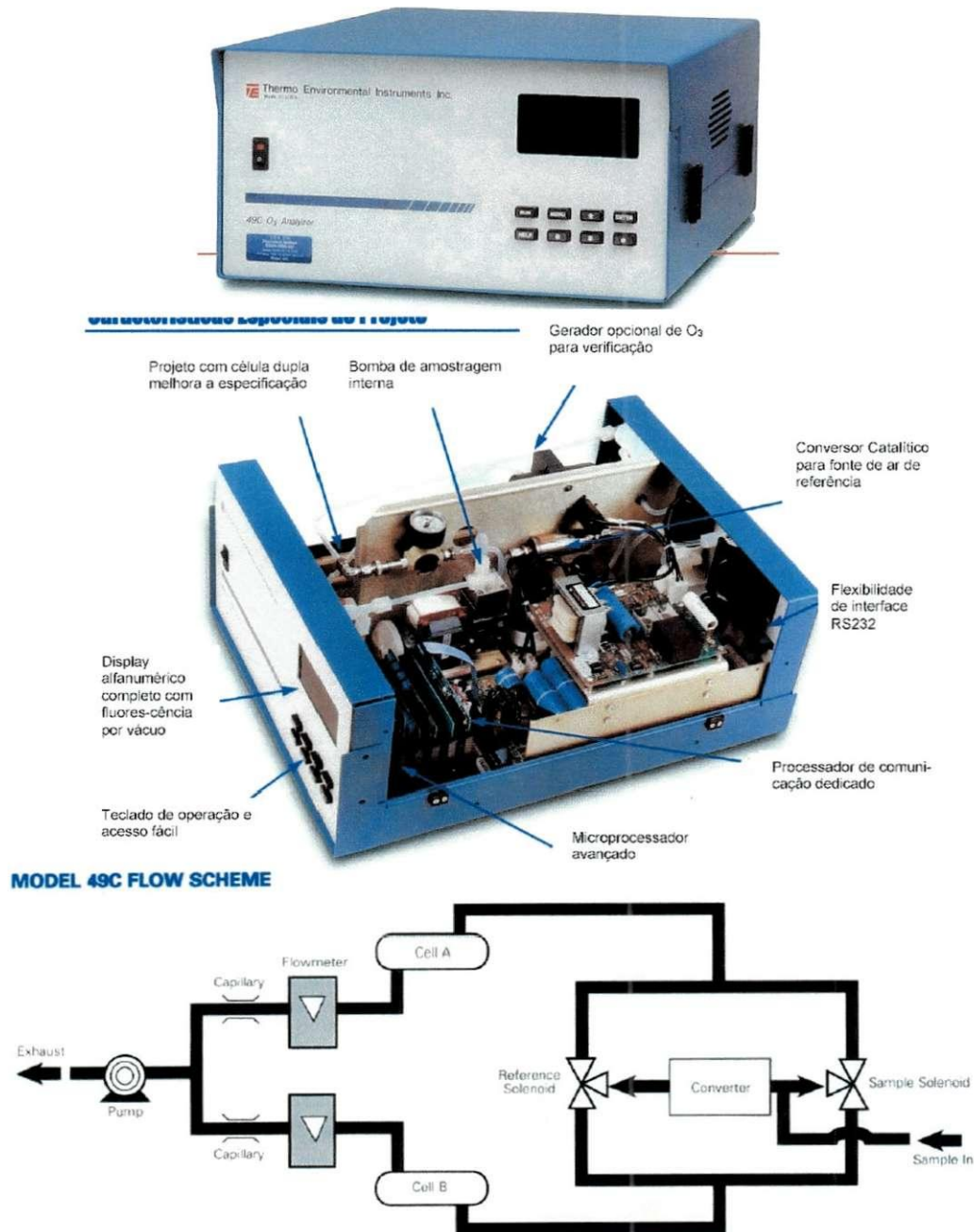


Figura 18 Analisador de Ozônio

- AGV PM 10 Amostrador de Grande Volume para detecção de partículas de até 10 micrômetro

O PM 10 pode ser visto na figura 19 e tem como principais equipamentos:

1. Cabeça de Separação

Funcionando por impactação, a cabeça MP10 Andersen é dotada de um conjunto de boqueiras que aceleram o ar de coleta para dentro de uma câmara de impactação, onde partículas maiores que 10  $\mu\text{m}$  ficam retidas numa camada oleosa. A fração de ar com partículas menores que 10  $\mu\text{m}$  (MP10) é carregada para fora da câmara e dirigida para um filtro de coleta (fibra de vidro ou micro-quartzo), onde ficam retidas as partículas. Visto que a velocidade do ar é crítica para a manutenção do ponto de corte de 10  $\mu\text{m}$ , é importante então manter-se a vazão correta de 1,13 m<sup>3</sup>/min ( $\pm 10\%$ ), em condições reais de temperatura e pressão.

## 2. Controlador de vazão volumétrica

Do tipo venturi, funciona como orifício crítico, quando o ar, ao passar pelo estrangulamento, chega próximo à velocidade do som. No venturi, quase toda a energia perdida no estrangulamento é recuperada, possibilitando obter-se o vácuo necessário com um simples moto-aspirador. Próximo do estado crítico e para um determinado diâmetro mínimo de estrangulamento, a vazão depende apenas - e pouco - das condições a montante do estrangulamento, ou seja, da perda de carga no filtro, da pressão barométrica e da temperatura ambiente. O diâmetro do estrangulamento é ajustado na ENERGÉTICA até obter-se uma vazão constante em torno de 1,13 m<sup>3</sup>/min (vazão de projeto).

## 3. O Registrador de Eventos

O Registrador de Eventos do AGV MP10 tem a finalidade de monitorar eventos anormais durante o período de amostragem. É do tipo transdutor de pressão, mas funciona com o fole em contração.

## 4. O Porta-Filtro e o Porta-Motor

O Porta-Filtro e o Porta-Motor do AGV MP10 são intercalados pelo CVV. O Porta-Filtro (de forma afunilada) é feito de fibra de vidro e encimado por telas de inox para portar o filtro e é fornecido com moldura e manípulos para aperto do filtro. O Porta-Motor (de forma cilíndrica) é também de fibra de vidro.



Figura 19 - PM 10

### 5.1.1 Localização

Após estudos realizados por uma empresa de consultoria em diagnósticos ambientais, constatou-se grande possibilidade de ocorrência do efeito *Down wash*, caracterizado por geração de turbulências na pluma dos gases da exaustão das chaminés pela combinação de ventos com grande intensidade e chaminé seguida de prédio com altura considerável, gerando turbulências que podem provocar o abaixamento da pluma a uma distância mais curta, (figura 20). Assim resolveu-se instalar a estação em um ponto extremo do terreno da Termope (figura 21).

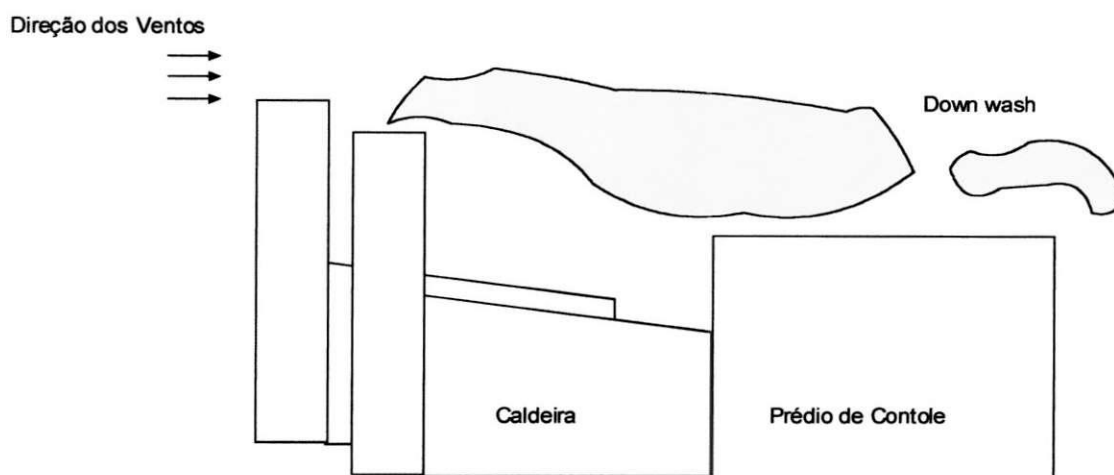


Figura 20 - Turbulências na pluma das emissões *Down Wash*

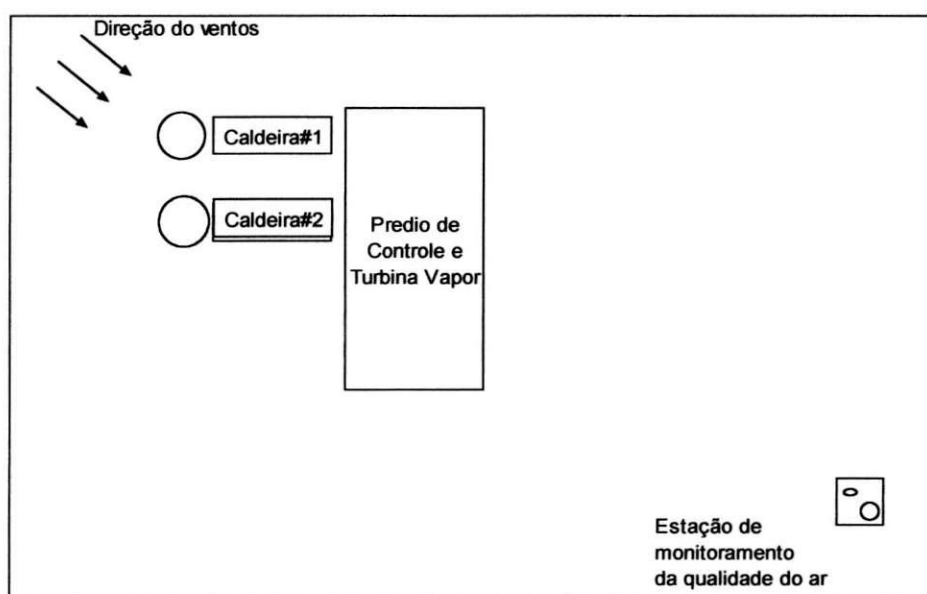


Figura 21 Localização da estação de monitoramento da qualidade do ar

### 5.1.2 Descrição do Projeto

Foi construída uma casinhola munida de tomadas, iluminação e ar-condicionado que será de uso exclusivo e contínuo de um sistema de monitoramento da qualidade do ar nas medições da Termopernamebuco. Ambiente de 9m<sup>2</sup> sendo 3m x 3m. Nas tabela 1 e 2 têm-se a descrição das cargas e a potência utilizada. Na tabela 2 tem-se a divisão de carga por circuito.

**Tabela 1 - Distribuição das carga e sessão dos condutores**

Circuito	Especificação	Carga instalada (w)				Condutor	Disjuntor	Tipo
		W	Fase A	Fase B	Fase C	mm <sup>2</sup>		
1	Tomadas	1270	1270			2,5	15	F
2	Tomadas	1270		1270		2,5	15	F
3	Ar-condicionado	1500		750	750	2,5	15	FF
4	Ar-condicionado	1500	750		750	2,5	15	FF
5	Iluminação	300	150		150	1,5	5	FF
	<b>Total</b>	<b>5840</b>	<b>2170</b>	<b>2020</b>	<b>1650</b>			

**Tabela 2 Potência dos equipamentos instalados**

Equipamento		Carga (W)
1	MONITOR CO 48C	100
2	MONITOR DE NO,NO2,NOX 42C	300
3	MONITOR DE O3 COM OPC.	150
4	CALIBRADOR 102N	250
5	GERADOR DE AR ZERO	500
6	EXAUSTOR	100
7	AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME MP10	941
8	Computador	200
9	Ar-condicionado	3000
10	Iluminação	300
	<b>Total:</b>	<b>5841</b>

Devido à localização da estação de monitoramento da qualidade do ar ser afastada da planta, foi necessário especificar um cabo adequado para uma alimentação trifásica tipo TT do sistema a partir do critério da queda de tensão onde foi encontrado na tabela 3.

**Tabela 3 - Grandezas encontradas para o sistema**

Potência (W)	5841
Tensão de linha (V)	220
Corrente (A)	15,34682
Comprimento (m)	240
Seção (mm <sup>2</sup> )	<b>12,94514</b>

Nas figuras 22 e 23 tem-se respectivamente, o diagrama elétrico e fotos da estação em operação.

## 5.2 Acompanhamento da Indisponibilidade

Diz-se que uma planta perde disponibilidade quando cessa de gerar energia elétrica, seja por paradas programadas, paradas imprevistas ou restrições à produção de qualquer natureza. A disponibilidade é avaliada em bases anuais e termos percentuais, comparando-se a totalidade das horas do ano com as do efetivo funcionamento.

As paradas programadas de uma termoelétrica com ciclo combinado são em geral determinadas pelas turbinas a gás, que normalmente são previstas para trabalhar até 8000 horas sem interrupção. Na prática, a perda de disponibilidade situa-se entre 2 e 12% ao ano, fixando-se em 5% em um horizonte de 5 anos. Os demais componentes, HRSG e turbina a vapor - terão sua manutenção contida nestes prazos.

Dados estatísticos mostram que as demais perdas de disponibilidade situam-se entre 3 e 6%, o que significa que algo próximo a 90% pode ser antecipado como disponibilidade média.

### 5.2.1 Contabilizando de indisponibilidade

O cálculo da disponibilidade deve seguir regras e padrões estabelecidos em contrato entre proprietário e operadora. A indisponibilidade pode ser classificada de forma abrangente como total ou parcial, onde para esta se pode calcular o equivalente total.

Apesar de não existir a formalização e valores padrões para os tempos máximos de partida da planta e sua potência dependente de condições atmosféricas, capacidades calorífica do gás fornecido e número de horas de fogo acumuladas, atualmente adota-se os valores das tabelas 4 e 5.

**Tabela 4 - Potência padrão**

POTÊNCIAS (MW)	
Potência Bruta da planta	<b>505,31</b>
Potência Bruta TG#1	<b>166,27</b>
Potência Bruta TG#2	<b>162,77</b>
Potência Bruta TV	<b>186,42</b>

\* TG#1 : Turbina a gás 1; TG#2 : Turbina a gás 2; TV: Turbina a Vapor

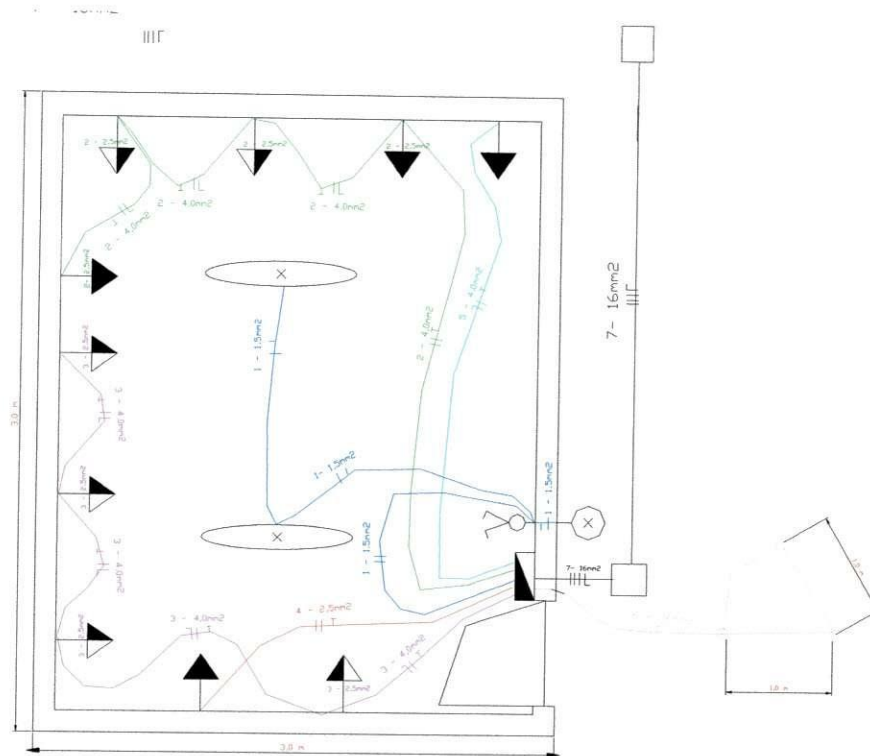


Figura 22 - Diagrama unifilar da estação de monitoramento da qualidade do ar (ANEXO C)



Figura 23 - Fotos da estação em estado final



**Tabela 5 -Tempos de partida até atingir carga base**

TEMPOS PARA PARTIDA* (h)	
Quente >700°F	5
Morna 400°F - 700°F	12
Fria < 400°F	15

\*Intervalo de tempo máximo aceitável, para planta chegar a carga base, de acordo com a temperatura do corpo da TV.

Outros critérios a serem levados em consideração são: tempo mínimo de 30 minutos de indisponibilidade e a redução de potência de uma das turbinas seja maior que 2% de sua potência máxima.

Para o cálculo do EDOH (Equivalentes de Indisponibilidade Parcial) utiliza-se equação 1.

$$EDOH = \frac{(PT - PMA)}{PT} \cdot HIP \quad (1)$$

PT: Potência total alcançável em condições normais

PMA: Potência total máxima alcançável durante a Indisponibilidade Parcial

HIP: Duração da Indisponibilidade Parcial

A seguir temos exemplos de cálculos e relato de eventos de indisponibilidade.

- Evento 16/08/2005

Antes da ocorrência a planta encontrava-se em funcionamento de forma estável com as unidades funcionando com as seguintes cargas GT#1 com 160 MW e TV com 85 MW, totalizando 245 MW.

Foi solicitada pela manutenção a execução da inspeção no 1BFA10GS112, disjuntor de acoplamento da barra 1/2BFA10, que já se encontrava aberto. Assim o operador de campo ao efetuar o devido bloqueio, extração do disjuntor, foi desligado o disjuntor 1BFA10GS214 (ver diagrama no anexo A) de alimentação da barra do CCM (Centro de Controle de Motores) da GT#1 (Turbina a Gás 1), provocando o disparo desta unidade e por consequência o disparo da TV (Turbina a Vapor) . Abaixo temos o demonstrativo dos resultados e na figura 24 o gráfico da geração bruta naquele dia.

- Duração da indisponibilidade:

Início: 16/08/05 10:48h

Fim: 16/08/05 12:31h

HIP: 1,72h

- EDOH = 0,63

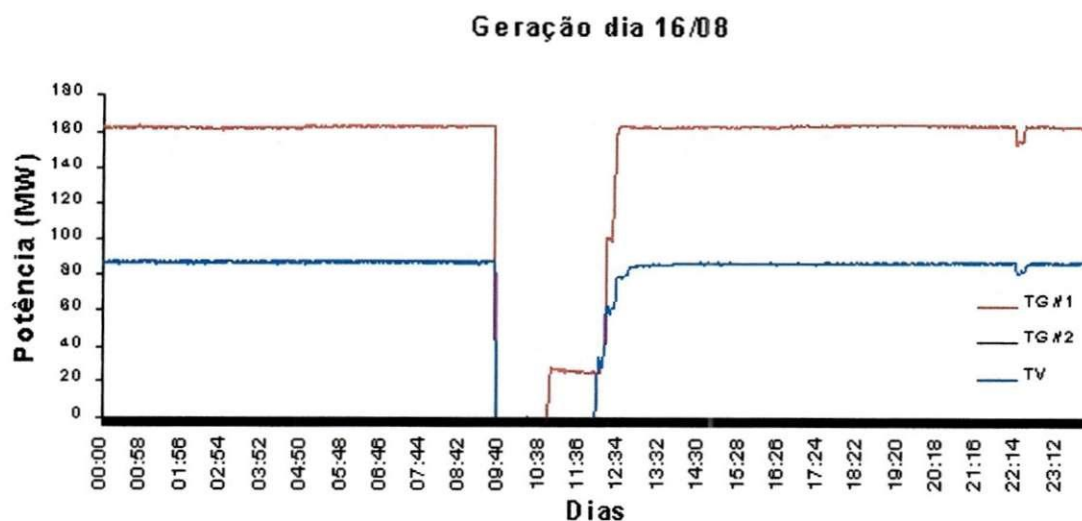


Figura 24 Geração do dia 16/08/2005

- Evento 03/07/2005

A planta encontrava-se há quatro dias parada, devido à restrição total de gás, e neste período como de costume e acordado com a termopernambuco a Iberdrola realiza manutenções que necessitam da planta totalmente parada. Confirmada programação de gás, como acordado, a planta deve estar disponível. Porém, durante a partida a TG#1 percebeu-se que o gerador não estava sendo motorizado, devido a não atuação da chave seccionadora 89SS diagrama 1 no anexo A. Os devidos bloqueios foram realizados no gerador, e testes na referida chave, constatou-se que uma chave de fim de curso, figura 14, estava com problema de fixação. Na figura 25 tem-se a indisponibilidade por atraso na partida da TG#1.

- Duração da indisponibilidade:

Início: 03/07/05 00:00h

Fim: 03/07/05 09:00h

HIP: 9h

- EDOH = 4,5h

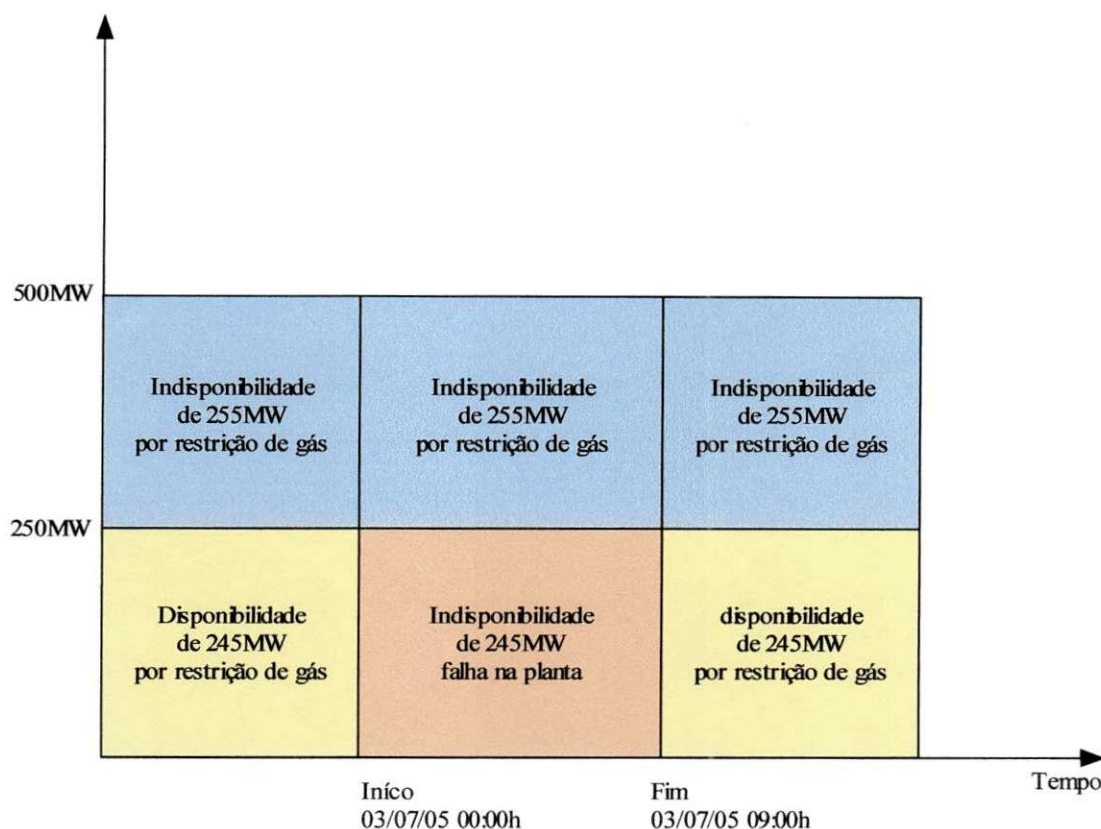


Figura 25 - gráfico do equivalente de indisponibilidade para o dia 03/07/2005

### 5.3 Manutenção Corretiva da Chave Seccionadora 89SS

Conforme comentado no item anterior 5.2, a indisponibilidade causada pela falha no acionamento da chave 89SS, diagrama elétrico no anexo A. Para esclarecer a manutenção realizada nesta chave, descreve-se a sua funcionalidade e funcionamento.

Para iniciar o processo de partida da turbina a gás é necessário conectar o gerador, acoplado à turbina, a um poderoso inversor de frequência chamado de LCI que tem como função motorizar o gerador e iniciar o movimento no eixo da turbina. Esta conexão é feita através da chave seccionadora 89SS ilustrada na figura 28.

O acionamento desta chave pode ser feito através da partida automática, acionamento remoto e local, com o acionamento elétrico do motor que executa a manobra ou utilizando uma alavanca como ilustrado na figura 26.

Para garantir a integridade do equipamento e a segurança do operador, esta chave possui um intertravamento elétrico feito por chaves de fim de curso. Na figura 27 tem-se o fim de curso MI que é normalmente fechado (NF) ficando aberto e desligando todo o circuito para acionamento elétrico, quando a

alavanca para manobra manual é conectada para efetuar manobra, assim preenchendo um dos itens para o intertravamento da chave.

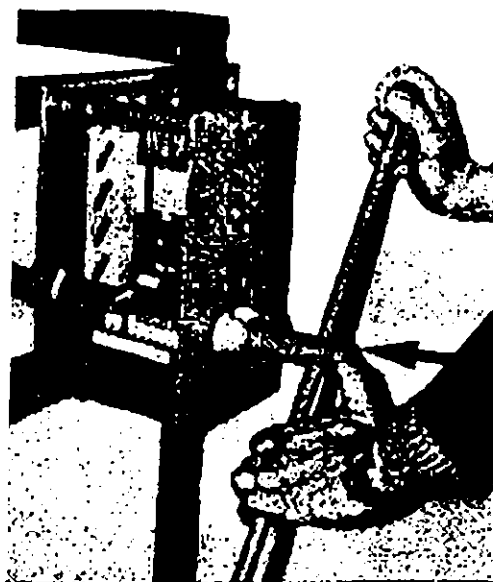


Figura 26 Acionamento manual da chave seccionadora 89SS

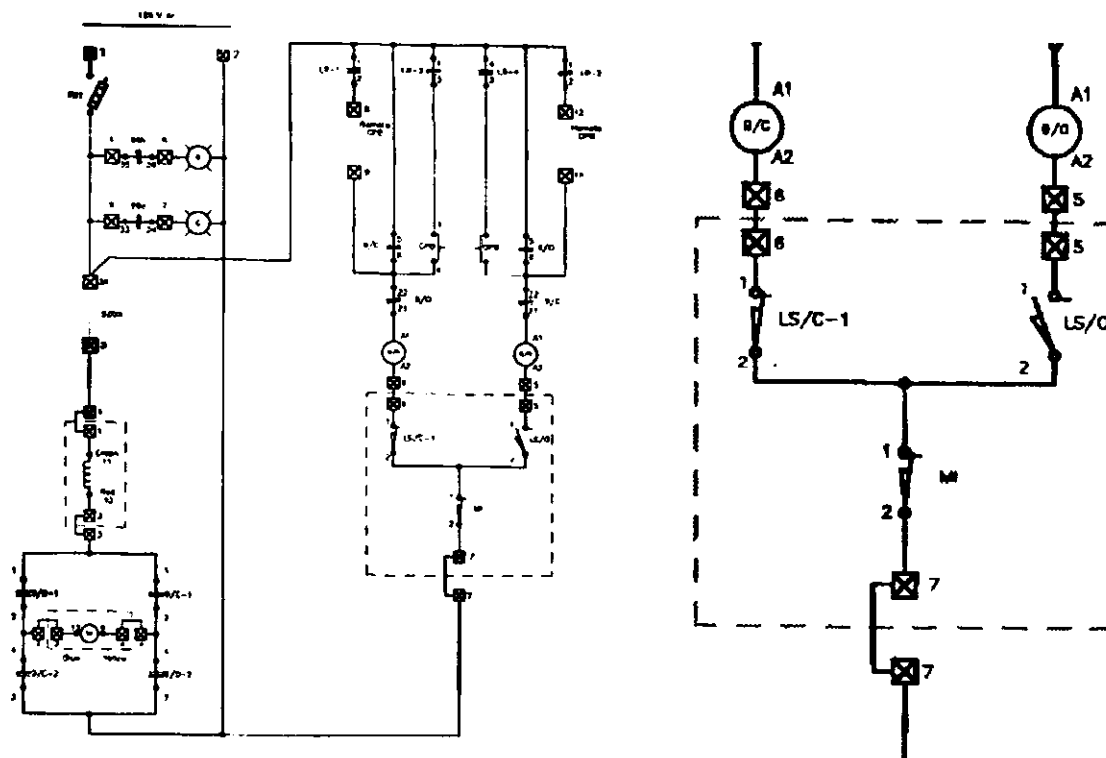


Figura 27 Diagrama elétrico de chave seccionadora 89SS

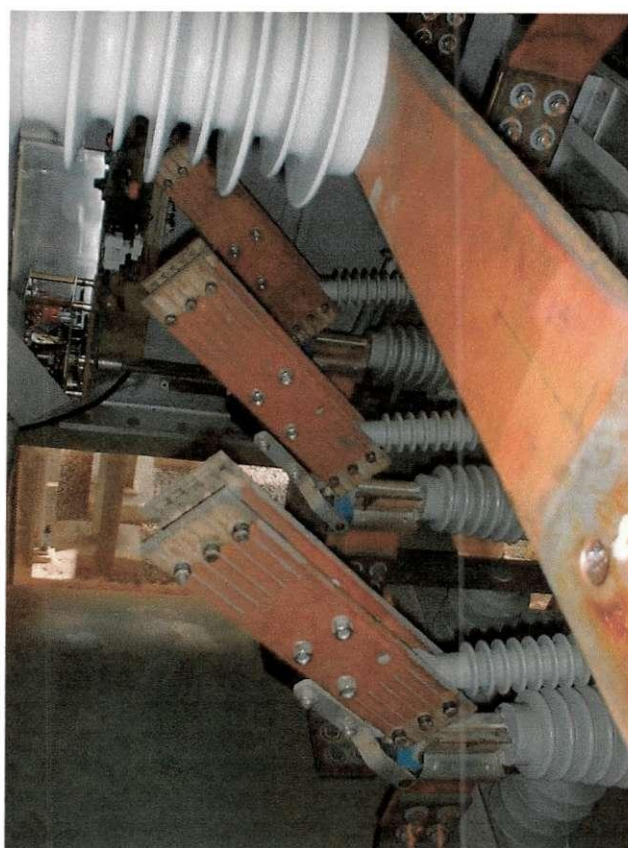


Figura 28 – Chave seccionadora 89SS



Figura 29 Chave de fim de curso do acionamento da seccionadora 89SS

Pode-se observar na figura 29, que o posicionamento da chave de fim de curso encontra-se praticamente acionada, o que se pode levar a conclusão que

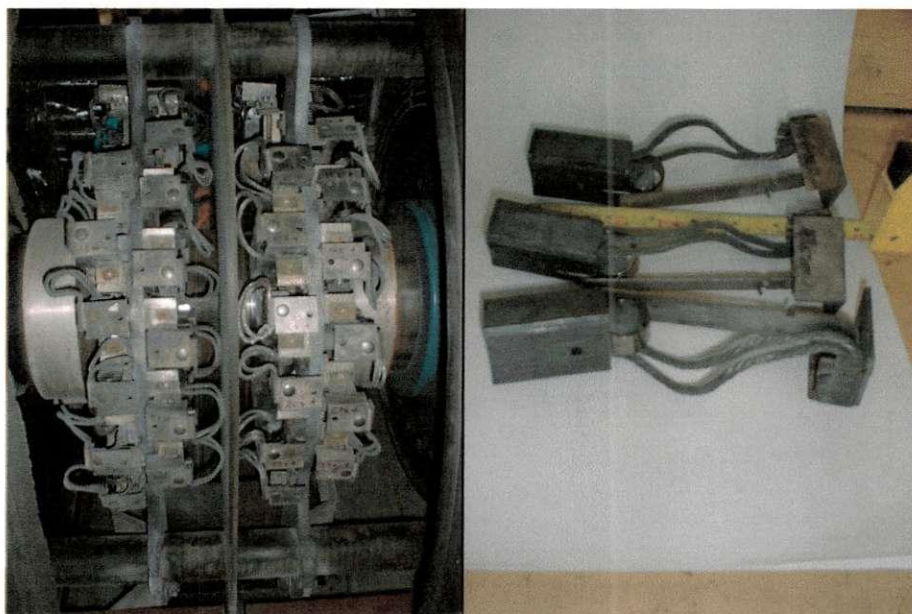
temos uma ligação errada dos terminais da chave, ou seja, é possível que estivesse ligado os terminais NA e não o NF como indicado no diagrama da figura 27. Com isso, feita à correção do posicionamento e ligação correta dos terminais do fim de curso, foram executados testes remotos e locais com a chave quanto ao seu acionamento e intertravamentos.

#### **5.4 Algumas outras Atividades desenvolvidas**

Durante este período de estágio acompanhei varias atividades de manutenção das quais posso citar:

##### **5.4.1 Troca de Escovas dos Geradores**

Periodicamente é feita a verificação do conjunto de escovas e limpeza dos anéis coletores dos geradores onde se deve respeitar o comprimento mínimo aceitável das escovas o número máximo escovas novas a ser trocada garantindo sempre uma boa superfície de contato.



**Figura 30 - Coletor e escovas gastas**

##### **5.4.2 Manutenção no intertravamento da chave de aterramento**

No anexo B tem-se o diagrama em que se encontra a chave de terra 1ADT01 que apresentava problemas no intertravamento mecânico com a chave seccionadora 1ADS01. Verificou-se que o motor que faz o acionamento da chave trabalho forçadamente empinando as haste que impediam situações proibidas para operação.

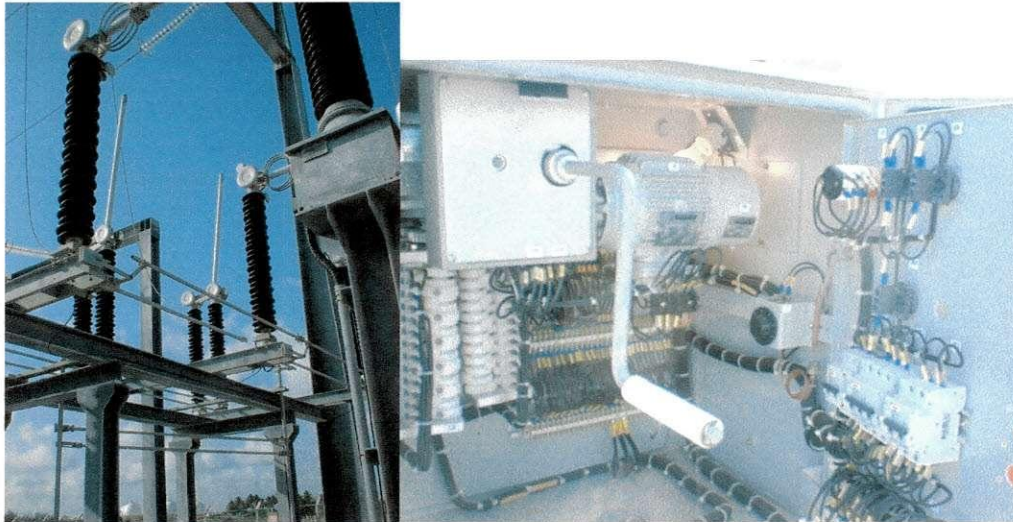


Figura 31 Chave seccionadora e chave de terra

#### 5.4.3 Manutenção no posicionador da válvula de controle de nível do tubulão de alta pressão

O posicionador é um controlador PI (proporcional integral) que recebe um sinal controle de 4 a 20mA onde este corresponde a um percentual de abertura da válvula pneumática.

Foi feita a calibração do posicionador com auxílio de um gerador de sinal corrigindo a anomalia em seu funcionamento.

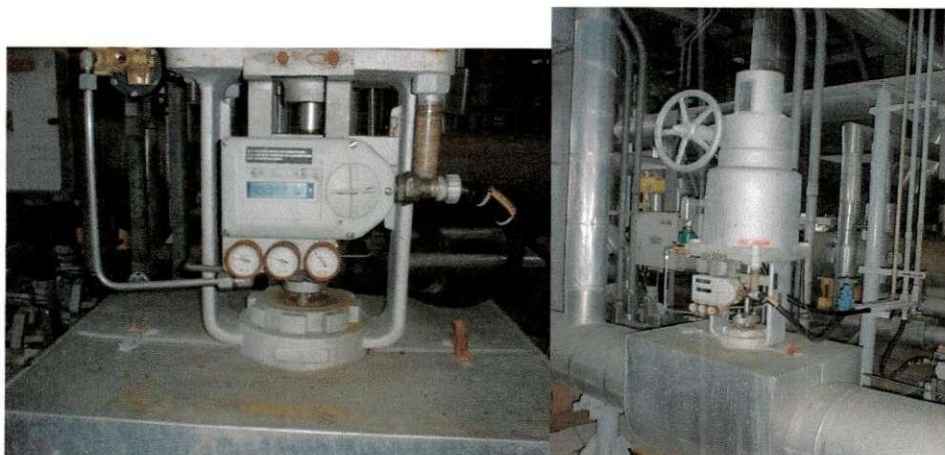


Figura 32 Válvula de controle de nível do tubulão de alta pressão

#### 5.4.4 Manutenção na casa de filtros e resfriador evaporativo da turbina a gás

Para garantir a melhor preservação do compressor é necessário que todo ar de admissão passe através dos filtros da entrada de ar, para isso a vedação destes com a parede que separa a casa de filtros do resfriador evaporativo de ser a melhor possível. Nesta manutenção foi feito um reposicionamento dos filtros e verificação da superfície de contato do resfriador evaporativo.



Figura 33 - Casa de filtro da admissão da turbina a gás

#### 5.4.5 Vazamento de Hidrogênio no Gerador

Com a presença constante de um técnico de segurança delimitando regiões segura. Acompanhei a detecção e manutenção de um vazamento de hidrogênio próximo aos terminais do gerador.





Figura 34 - Vazamento de H<sub>2</sub> do Gerador

#### 5.4.6 Estudo de vários sistemas de serviços auxiliares a ilha de potência

- Captação de Água do Mar
- Unidade de Geração de Hipoclorito de Sódio
- Sistemas de Refrigeração aberto (condensador e componentes) e fechado
- Estação de Tratamento de Água e Desmineralização
- Dosagem Química (fostato, hidrazina, morfolina,...)
- Sistema de Conadessados
- Sistema de Vapor
- Sistema de Monitoramento Contínuo de Emissões (CEMS)
- Tratamento de Efluentes
- Descarga do Sistema de Refrigeração
- Sistema de Água de Alimentação
- Caldeiras
- Sistema de gás
- Transformadores e Subestação
- Proteção catódica

## 6 Conclusões

O estágio é a oportunidade para o encontro do conhecimento agregado na universidade à prática da engenharia e com isso tornar apto o aluno a iniciar sua trajetória como profissional. Para o aluno de engenharia fica claro a grande interligação entre as várias engenharia envolvidas em um processo industrial.

O estágio realizado entre 14/02/2005 a 17/08/2005 possibilitou agregar conhecimentos de grande importância para formação em engenharia elétrica, tais como conhecimentos do processo de geração de energia termelétrica,

manutenções preventivas e corretivas, acompanhamento e desenvolvimento de pequenos projetos, análise de funcionamento da planta, conhecimentos relacionados à regulação, comercialização de energia elétrica e compra de gás natural. Além disso, o convívio com profissionais de diversas áreas e com vasta experiência, proporcionou ao aluno uma contribuição de grande valia para sua formação pessoal.

## **7 Referências Bibliográficas**

LORA, ELECTO EDUARDO SILVA E NASCIMENTO, MARCO ANTÔNIO ROSA DO , Geração de Energia Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação, Intercoência 2004

REIS, LINEU BELICO dos Geração de Energia Elétrica - Tecnologia, Inserção Ambientação, Planejamneto, Operação , Manole, 2003.

GE POWER SYSTEMS, Manual de Treinamento de operação e manutenção de Turbo Gerador a Vapor GE power Systems, 2003.

GE POWER SYSTEMS, Manual de Treinamento de operação e manutenção de Turbo Gerador a Gás ,2003.

GE POWER SYSTEMS, Operação de Ciclo Combinado , Departamento de Sistemas de Usina Geradora, 2002.

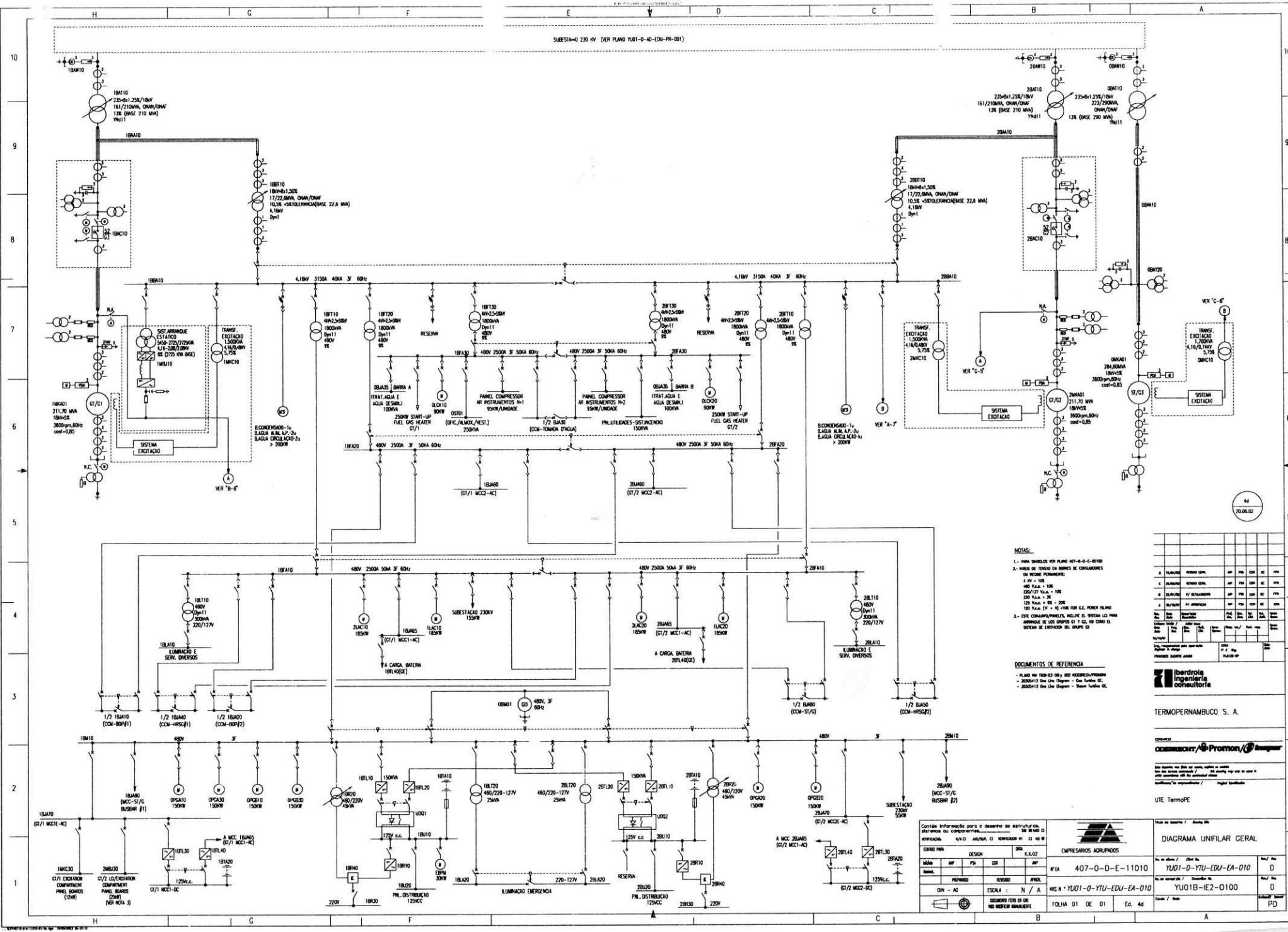
GE POWER SYSTEMS, Projeto da usina Termopernambuco ipojuca Suape, Brasil, 2003.

ANSI/IEEE Std 762-1987(R2002) IEEE Standard Definitions for Use in Reporting Electric Generating Unit Reliability, A vailability, and Productivity

## Anexo A



## Anexo B



NOTAS:

- 1- PARA DETALHES VER PLANO 07-0-D-E-01010
- 2- NÍVEL DE TENSÃO DE BOMBS DE COMANDO DE 480V - 100%  
480V x 1,05 = 504V  
230/127 V.A. = 105V  
230 V.A. = 230V  
125 V.A. = 125V  
120 V.A. (V = 0) 100V FOR C.C. POWER PLANT
- 3- EM CASO DE COMANDO/PROTEÇÃO DO SISTEMA DE TENSÃO DE EXCITAÇÃO DE LOS GRUPOS SI 1 E 2, SE COMO SI SISTEMA DE EXCITAÇÃO DO GRUPO SI 2

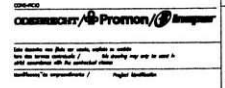
DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- PLANO 07-0-D-E-01010 (SEE EXCITACAO/PROTECAO)
- 2000-113 One Line Diagram - Gas Turbine G2
- 2000-113 One Line Diagram - Steam Turbine G2

Rev.	Descrição	Por	Em	Por	Em	Por	Em
1	ELABORADO	INGENIERO	10/06/02	APR	10/06/02	EN	10/06/02
2	REVISADO	INGENIERO	10/06/02	APR	10/06/02	EN	10/06/02
3	APROBADO	INGENIERO	10/06/02	APR	10/06/02	EN	10/06/02
4	REVISADO	INGENIERO	10/06/02	APR	10/06/02	EN	10/06/02
5	APROBADO	INGENIERO	10/06/02	APR	10/06/02	EN	10/06/02

**iberdrola**  
ingenieria  
consultoria

TERMOPERNAMBUCO S. A.



UTE TermoPE

Conte informações para o desenho de BARRIOS/OL. SISTEMAS DE COMPONENTES. SE BARRIO 01

REFERENCIA: N/A/O ANEXO 02 REFERENCIAL N.º 01 N.º 01

DESIGN	DATA	EMPRESARIOS AGRUPADOS
ÁREA	APR	APR
PREPADO	REVISADO	APROV.
DIR - AD	ESCALA : N / A	N.º 407-0-D-E-11010
SECUNDOS FORN DE OR	FOLHA 01 DE 01	YU01-0-YU-EDU-EA-010
NO N.º YU01-0-YU-EDU-EA-010	Ed. 44	YU01B-IE2-0100
NO N.º YU01B-IE2-0100		

Proj. / Des. / Rev. / Aprob. / Escala / Folha / Edição

## Anexo C

