

UTILIZAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL PARA COGERAÇÃO NA V & M DO BRASIL ¹

*Cristiano Pedro de Souza*²
*Sérgio Grassi Ferreira Marques*³
*Ledomiro Braga da Silva*⁴

RESUMO

O período de 1999 a 2001 foi marcado pela crise de energia elétrica, com blecaute e racionamento de energia. O permanente risco de faltar energia, a alta possibilidade de blecaute e a incerteza de custo levaram as grandes empresas a buscarem soluções energéticas alternativas.

Oportunidade de utilização de combustíveis residuais dos processos produtivos da V&M do Brasil (Gás de Alto Forno e Alcatrão Vegetal) aliada à crise de energia motivou a construção de uma unidade de cogeração. A construção da Usina Termelétrica Barreiro (UTE Barreiro) teve início neste período de crise, entrando em operação comercial em fevereiro de 2004, com um fornecimento de uma energia limpa e segura que corresponde a 30% da necessidade da empresa.

O projeto envolveu uma parceria muito importante, a V & M do Brasil cedeu o terreno, fornece os combustíveis e outros insumos e consome toda energia gerada e a CEMIG responde pelo investimento, operação e manutenção.

Palavras-chave: energia renovável, cogeração.

¹ Trabalho apresentado no XXV Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, 25 a 27 de agosto, 2004, Florianópolis, SC, Brasil.

² Eng^o Eletricista, Engenheiro de Processo da Gerência de Energia e Utilidades.

³ Eng^o Eletricista, Gerente de Energia e Utilidades.

⁴ M.Sc. Eng^o Mecânico, Superintendente de Manutenção e Utilidades.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos, a taxa média de crescimento da capacidade de geração de energia elétrica foi permanentemente inferior à taxa de crescimento do consumo. Este fato, somado a um ano hidrológico particularmente desfavorável em 2001, levou a uma situação de virtual esgotamento dos reservatórios das principais usinas das regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste. Em 1999 houve um episódio de blecaute generalizado em todo o Brasil. Assim, lamentavelmente, o racionamento do consumo de energia tornou-se realidade para região Sudeste em 2001. No final de 2003 e início de 2004 houve necessidade de aporte de energia das térmicas emergenciais no Nordeste, o que onerou todos os consumidores. O permanente risco de faltar energia, a alta possibilidade de blecaute e a incerteza de custo levaram as grandes empresas a buscarem soluções energéticas alternativas.

A oportunidade de utilização de combustíveis residuais dos processos produtivos (Gás de Alto Forno e Alcatrão Vegetal) aliada à crise de energia motivou a construção de uma unidade de cogeração em parceria com a CEMIG, projetada para integração ao sistema elétrico da V & M do Brasil, dando mais segurança ao suprimento de energia elétrica, como alternativa ao sistema interligado.

2. A PARCERIA

A construção da Usina Termelétrica Barreiro (UTE Barreiro) teve início num período de crise de energia e hoje garante um fornecimento de uma energia limpa e segura que corresponde a 1/3 da necessidade da empresa. O projeto envolveu uma parceria muito importante, a V & M do Brasil cedeu o terreno, fornece os combustíveis e outros insumos e consome toda energia gerada e a CEMIG responde pelo investimento, operação e manutenção. A UTE Barreiro é o primeiro projeto de cogeração da CEMIG em parceria com um cliente da iniciativa privada. Faz parte de sua estratégia de se tornar uma provedora de soluções energéticas e não apenas fornecedora de energia.

Outra empresa envolvida foi a Toshiba do Brasil S.A. que, em regime de *turn key* (fornecimento integrado), prestou os serviços de engenharia, construção civil, fornecimento e montagem dos equipamentos, além do treinamento dos operadores. A parceria no projeto trouxe os seguintes ganhos para V & M do Brasil, CEMIG e a comunidade:

- Para a V & M do Brasil:
 - custos mais baixos;
 - utilização de excedente de Gás do Alto Forno e Alcatrão Vegetal;
 - garantia de fornecimento de energia; e
 - evita investimentos não concentrados no negócio principal.
-
- Para a CEMIG:
 - consolidação de sua posição no setor elétrico;
 - inovação de atendimento, oferecendo soluções energéticas;
 - unidades dentro das instalações do cliente.

- Para a comunidade haverá maior disponibilidade e conseqüentemente melhoria da qualidade da energia elétrica, já que a UTE Barreiro produz energia equivalente ao consumo de 45.000 residências.

3. ESTUDO DE VIABILIDADE

3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

A UTE Barreiro significa menos poluição ambiental, uma vez que somente o fato de estar recuperando perdas de energia, já contribui para melhoria do meio ambiente. Também, neste caso, os subprodutos usados na UTE Barreiro são ecologicamente corretos, com isso evitando uma geração de energia com combustível fóssil, que emitiria CO₂ em outro local. Impacto sócio-econômico do empreendimento favorável, com economia em energia elétrica para a V & M do Brasil, torna-a habilitada a ser competitiva no mercado onde tem atuado.

ANÁLISES DOS IMPACTOS:

- O ruído causado pela UTE é considerado muito baixo devido à instalação em prédio fechado e distância de 2.500 metros da comunidade.
- Efluentes líquidos industriais e sanitários dentro dos padrões exigidos, direcionados a um interceptor do sistema PROSAM, evitando qualquer lançamento diretamente aos rios.
- Não haverá acréscimo das emissões pelo Gás de Alto Forno, que substitui a queima na tocha dos altos fornos pelo queimador da caldeira da UTE.
- Pode ser desprezada a emissão de dióxido de enxofre pelo Alcatrão Vegetal como produto de combustão.
- O Gás Natural é utilizado somente para complementar a energia necessária. Combustível consideravelmente limpo. Gera somente CO₂ e H₂O.
- Resíduos sólidos industriais e lixo doméstico não são gerados pela UTE.
- Impacto positivo em função da alimentação dos sopradores dos altos fornos pela energia gerada na UTE, evitando assim desligamentos emergenciais, no caso de uma falha de fornecimento de energia elétrica pela CEMIG.
- A V&M do Brasil forneceu tubos de aço sem costura para a estrutura e caldeira da UTE Barreiro. Foram 18 toneladas de tubos para as fundações, 20 toneladas de tubos estruturais para o galpão da caldeira, 17 toneladas para o galpão da turbina e cerca de 300 toneladas de tubos especiais para a caldeira.

3.2 PREÇO DA ENERGIA

Fluxo de caixa do empreendimento com uma redução de 30% no preço da energia praticado no décimo ano e um reajuste anual composto pela variação do IGP-M, INPC e os custos de produção dos combustíveis. Cerca de 80% deste mix é reajustado pelo IGP-M que se refere à operação e manutenção (exceto mão-de-obra), taxa de fiscalização da ANEEL, impostos de capital investido (depreciação e lucro) e *back-up*. No décimo ano de operação a composição do reajuste é alterada, o percentual do IGP-M passa de 80 para 72%, aumentando a parcela reajustada pelo INPC que se refere a mão-de-obra e custos de produção dos combustíveis.

Na ocasião do estudo de viabilidade econômica, esse sinalizou que o preço final da energia gerada na UTE Barreiro propiciaria uma margem de 20 % comparando-se aos preços praticados pelo contrato consumidor cativo.

4. CONTRATOS

4.1 ENERGIA ASSEGURADA - UTE BARREIRO

O contrato entre V & M do Brasil e a UTE Barreiro, subsidiária integral da CEMIG, foi assinado após conclusão do estudo de viabilidade econômica que demonstrou favorável a construção de uma unidade de cogeração, para gerar energia elétrica com o aproveitamento dos combustíveis residuais de processos produtivos da V & M do Brasil. Este contrato é de longo prazo, tem vigência de 20 anos a partir da data de entrada em operação comercial, que ocorreu em 22/02/2004.

A Energia Assegurada é fornecida 24 horas por dia, 365 dias por ano, sem diferenciação horo-sazonal, ressalvado problemas não imputáveis a UTE Barreiro. A energia elétrica gerada pelo montante equivalente ao volume da Energia Assegurada, independente da V&M do Brasil disponibilizar ou não o combustível necessário para a geração contratada será faturada pela UTE Barreiro. Caso o fornecimento de combustíveis seja parcialmente ou totalmente interrompido ou quando não tiverem as características acordadas, provocando redução da capacidade de geração e a V&M do Brasil necessite da energia que deveria ser gerada, a UTE Barreiro busca esta energia no MAE (Mercado Atacadista de Energia), repassando à V&M do Brasil todos os custos decorrentes desse procedimento. Neste caso o faturamento total é igual ao faturamento da Energia Assegurada mais repasse dos custos decorrentes da energia comprada no MAE. As restrições devidas às saídas forçadas e manutenções programadas da UTE Barreiro, o fornecimento de energia fica mantido através de compra de energia no MAE pela UTE Barreiro sem repasse deste custo.

4.2 ENERGIA COMPLEMENTAR

A energia elétrica necessária além da capacidade da UTE Barreiro é contratada em separado, através de um contrato de energia complementar de consumidor livre de energia.

Critério de Faturamento da energia complementar:

- Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD):
 - Demanda Faturada (DF):

$$DF = DC$$

$$DF' = DR + DUTE - DAS$$

É o maior valor entre DF e DF', ou seja, Demanda Contratada (DC) e a Demanda Registrada (DR) no ponto de conexão somada a Demanda Registrada no ponto de entrega da UTE (DUTE) menos a Demanda Assegurada da UTE

(DAS). Para efeito do cálculo da Demanda Faturada, a Demanda Registrada da UTE é limitada ao valor da Demanda Assegurada.

– Demanda de Ultrapassagem:

No caso da diferença entre as demandas DF' e DF ser positiva, aplica-se a Tarifa de Ultrapassagem estabelecida pela legislação vigente. Não aplica-se desde que a diferença seja igual ou inferior a 5% da Demanda Contratada.

▪ Contrato de Compra e Venda de Energia Elétrica:

– Energia Faturada (EF):

$$EF = 85\% \times EC$$

$$EF' = ER + EUTE - EAS$$

É o maior valor entre EF e EF', ou seja, 85% da Energia Contratada (EC) e a Energia Registrada (ER) no ponto de conexão somada a Energia Registrada no ponto de entrega da UTE (EUTE) menos a Energia Assegurada da UTE (EAS), limitado a 110% da Energia Contratada (EC) sazonalizada mensal. Para efeito do cálculo da Energia Faturada, a Energia Assegurada da UTE é calculada multiplicando a Demanda Assegurada pelo número de horas do ciclo de faturamento em cada segmento horo-sazonal.

– Energia acima de 110 % da Energia Contratada :

Caso o valor resultante da Energia Faturada EF' seja superior ao limite de 110 % da Energia Contratada sazonalizada mensal, a V&M do Brasil paga 110% do maior valor entre o preço vigente do contrato e o preço do MAE à época, ou será responsável pela aquisição da parcela de energia acima desse limite, sendo que a CEMIG deverá ser comunicada por escrito da referida aquisição com antecedência mínima de um dia útil antes da leitura.

5. EMPREENDIMENTO

5.1 COMBUSTÍVEIS

A V & M do Brasil possui dois altos fornos com capacidade de produção de 600.000 t/ano de gusa, cujas principais matérias primas são o minério de ferro e o carvão vegetal, que é também fonte de energia. A reação química no processo de redução do minério produz um gás com alto teor de CO, conhecido como Gás de Alto Forno (GAF), cuja composição média é mostrada nas Tab. 1 e 2. Este gás é utilizado nos próprios Altos Fornos (Cowpers e Glendons), nos fornos das laminações e tratamento térmico e o excedente era queimado em tochas, aproximadamente 42.000 Nm³/h que corresponde uma energia calorífica de 44 MW, empregado na UTE para gerar energia elétrica.

Tabela 1 – Composição média do Gás de Alto Forno (% em volume).

Componente	%
N ₂	51,6
CO	25,7
CO ₂	16,7
H ₂	4,7
CH ₄	1,3

Tabela 2 – Propriedades médias do Gás de Alto Forno.

Umidade	100 %
Poder calorífico inferior	900 kcal/Nm ³
Densidade	1,3439 kg/m ³
Ponto de ignição	650 °C

O Alcatrão Vegetal é um subproduto proveniente da carbonização da madeira nos fornos da V&M Florestal, empresa da V&M do Brasil responsável pela produção do carvão vegetal para os Altos Fornos. Sua composição e propriedades são mostradas nas Tab. 3 e 4. A capacidade de produção anual é cerca de 4500 toneladas.

Tabela 2 – Composição média do Alcatrão Vegetal (% em massa, base seca).

Componente	%
Carbono	54,9
Hidrogênio	7,0
Oxigênio	37,0
Nitrogênio	1,1
Enxofre	< 0,1
Umidade	15

Tabela 3 – Propriedades médias do Alcatrão Vegetal.

Umidade	15 %
Viscosidade a 30°C	1.000 cSt
Poder calorífico inferior	5.000 kcal/kg
Poder calorífico superior	5.800 kcal/kg
Densidade	1.160 kg/m ³
Ponto de fulgor	130 a 140°C
Ponto de ignição	140 a 150°C

A energia dos subprodutos excedentes dos processos empregados à termelétrica tem capacidade de gerar uma potência elétrica de 12,9 MW, após estudos de balanço energético.

5.2 TERMELETRICA

O fluxograma da UTE Barreiro e as interfaces com os processos da V&M do Brasil estão representados na fig. 1.

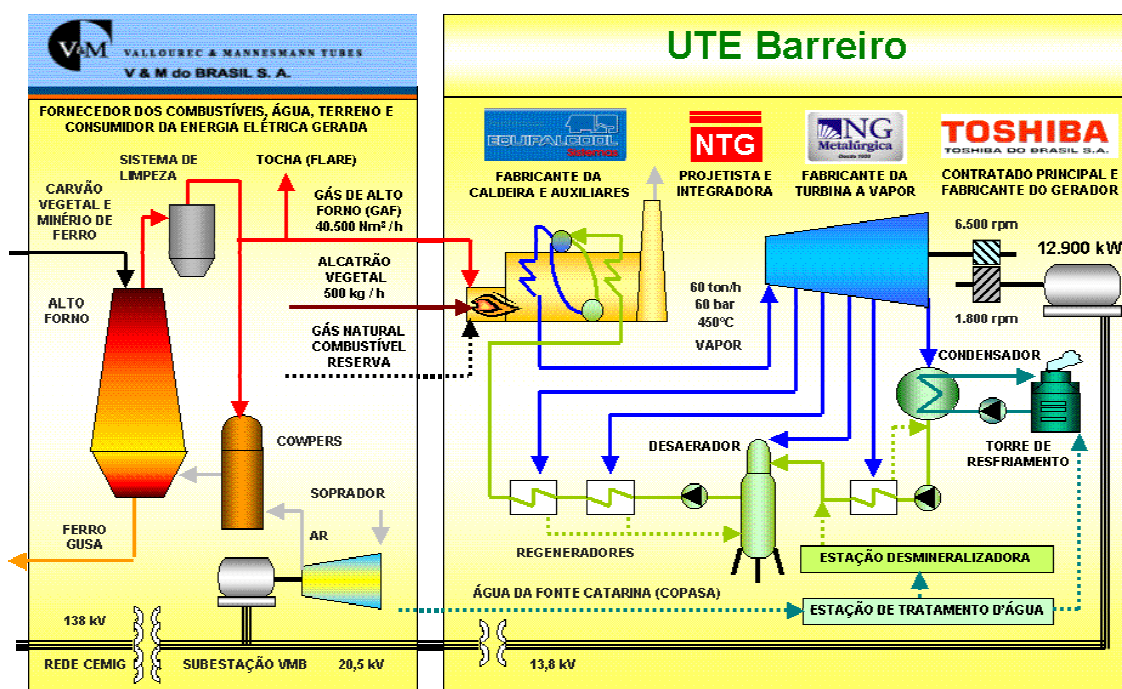


Figura 1 – Fluxograma dos processos V & M do Brasil e UTE Barreiro.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A Tab. 5 resume as informações técnicas da planta UTE Barreiro, que foi construída utilizando os principais equipamentos fabricados no Brasil.

Tabela 5 – Dados Gerais

Potência nominal bruta	12.900 kW
Eficiência térmica líquida da planta – base PCI	25,1%
Área construída	4.300 m ³
Potência consumo próprio	1.220 kW
Perdas no transformador elevador	234 kW
Potência líquida	11.446 kW
Fator de disponibilidade (média anual)	93%
Fator de confiabilidade	95%
Tempo de partida da máquina a Frio	240 min.

A Caldeira é do tipo aquatubular sem reaquecedor, com dois tambores, circulação natural e fornalha tipo parede d'água com os queimadores misto: lança de alcatrão e anéis de Gás de Alto Forno e Gás Natural (Tab.6).

Tabela 6 – Caldeira

Fabricante	EQUIPALCOOL
Consumo de combustível - GAF	40.500 Nm ³ /h
Consumo de combustível - Alcatrão	500 kg/h
Consumo de combustível (reserva) – GN	4.203 Nm ³ /h
Capacidade de produção de vapor	59.300 kg/h
Pressão do vapor	60 bar abs
Temperatura do vapor	450 °C

A Turbina a vapor é do tipo condensação com rotor integral, um estágio de impulso, treze estágios de baixa reação e quatro extrações de vapor (Tab.7).

Tabela 7 – Turbina a vapor

Fabricante	NG Metalúrgica
Vazão de vapor na entrada	59.300 kg/h
Pressão de vapor na entrada	60 bar abs
Temperatura do Vapor	450 °C
Consumo de vapor (kg / kWh)	4,60 kg / kWh
Rotação nominal	6.500 rpm

O Gerador Elétrico é do tipo síncrono de eixo horizontal com quatro pólos, trifásico, ligação estrela com neutro acessível. Tipo de excitação rotativa CA – Brushless (Tab.8).

Tabela 8 – Gerador Elétrico

Fabricante	TOSHIBA
Potência nominal MVA	15,176 MVA
Potência nominal MW	12,900 MW
Fator de potência	0,85
Frequência nominal	60 Hz
Rotação nominal	1.800 rpm

5.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

A configuração do sistema elétrico da V & M do Brasil está simplificado no diagrama unifilar representado pela fig. 2. As entradas I e II estão ligadas na SE Barreiro da CEMIG, por uma linha de transmissão 138 kV. Cada entrada possui um banco de transformadores monofásicos de 60/75 MVA com as mesmas características técnicas, interligados às barras I e II de 20,5 kV por disjuntores à vácuo. A configuração com barra dupla e alimentadores com dois disjuntores (configuração *back to back*) possibilita paralelismo das entradas e transferência de carga entre barras sem interrupção no fornecimento de energia. Atualmente uma entrada é suficiente para manter a todo o processo produtivo da empresa, que torna o sistema bastante flexível para a manutenção e operação do sistema elétrico.

Visto que a potência da UTE Barreiro corresponde a 30% da demanda, em sua barra são ligadas somente as cargas prioritárias. O critério para definir a prioridade de carga foi garantir energia elétrica para os equipamentos sensíveis a afundamento de tensão seguido de grandes perdas para o processo produtivo e longo tempo de restabelecimento. Os sopradores dos Altos Fornos e o Lingotamento Contínuo da Aciaria são as cargas mais críticas da empresa. Um afundamento de tensão para os Altos Fornos pode levar a entupimento de ventaneiras até 12 horas de parada de produção. Para o Lingotamento Contínuo este afundamento de tensão pode interromper os veios, necessitando de 3 horas para restabelecer a seqüência de produção da Aciaria, que provoca parada no Forno Panela e Convertedor LD.

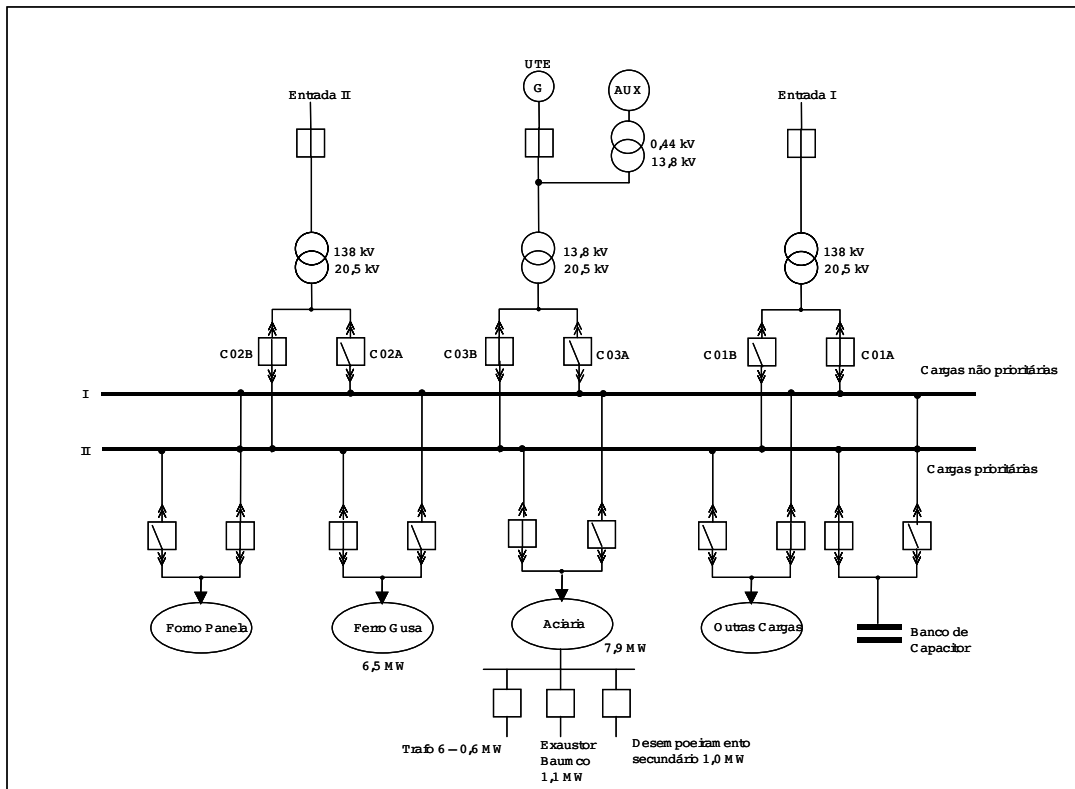


Figura 2 – Configuração das cargas prioritárias.

As cargas prioritárias estão instaladas nas Subestações Ferro Gusa e Aciaria, ligadas na mesma barra da termelétrica. Estas subestações são também responsáveis por alimentar os equipamentos de produção e distribuição de Gás de Alto Forno e distribuição de água para termelétrica. O fornecimento contínuo de gás e água garante um sistema auto-sustentável em situação de falta de energia elétrica da concessionária.

Em condição normal a potência das cargas prioritárias ultrapassa a geração da UTE aproximadamente 3 MW. Para manter a estabilidade do sistema elétrico para falta da concessionária, foram identificadas as cargas não prioritárias da Aciaria para serem desligadas após ilhamento.

Definido as cargas prioritárias e não prioritárias com suas respectivas potências, foi realizado um estudo de estabilidade transitória do sistema elétrico V&M do Brasil e UTE Barreiro com finalidade de se conhecer o comportamento dinâmico do sistema de geração, quando da ocorrência de perturbações do tipo curto-circuito ou perda da concessionária. As simulações mostraram as condições limites para atuação da proteção no sentido de proporcionar ao sistema uma capacidade de retornar às suas condições estáveis de operação, depois de sofrido algum tipo de perturbação.

O estudo de estabilidade demonstra que faltas trifásicas/bifásicas francas em 138 e 20 kV podem ser eliminadas em até 200 ms (tempo do relé mais o tempo de abertura do disjuntor) não impondo perda de estabilidade. Para o nível de 6,6 kV as faltas trifásicas/bifásicas francas eliminadas em até 1 s não interferem na

estabilidade. O estudo de estabilidade simulando perda da concessionária demonstra a necessidade de um rápido desacoplamento da concessionária com o objetivo de evitar a queda de carga motriz via contactor. Nesta simulação a taxa de decaimento da tensão é elevada e não há possibilidade de se obter rápido desacoplamento ajustando-se apenas degrau absoluto de frequência, pois o mesmo deverá ser temporizado para evitar falsa atuação. Portanto, foi necessário para atuação de desacoplamento e ilhamento rápido por um relé de subfrequência com medição da variação da taxa de frequência (df/dt) com dois estágios de $F+df/dt$ (frequência absoluta + medição de taxa de variação de frequência).

- Primeiro estágio:
 - Frequência Absoluta de disparo para medição df/dt : 59,0 Hz;
 - Taxa de decaimento: 2,0 Hz/s;
 - Temporização: 0,0 ms;
 - Ciclos de medição: 3 ciclos;
 - Sinal de Trip para: Ilhamento.

- Segundo estágio:
 - Frequência Absoluta de disparo para medição df/dt : 58,6 Hz;
 - Taxa de decaimento: 0,5 Hz/s;
 - Temporização: 400 ms;
 - Ciclos de medição: 3 ciclos;
 - Sinal de Trip para: Cargas nas prioritárias da Aciaria.

5. CONCLUSÃO

A utilização de subprodutos industriais para geração de energia elétrica proporciona menos poluição ambiental e maior disponibilidade dos recursos naturais para aplicações mais nobres.

A UTE Barreiro integrada ao sistema elétrico da V&M do Brasil produz uma energia limpa, firme, dando mais segurança ao suprimento de energia elétrica como alternativa ao sistema interligado.

A parceria CEMIG e V&M do BRASIL no projeto da unidade de cogeração é uma demonstração de confiança das duas empresas na economia de Minas e do Brasil, além de ser um exemplo de criatividade e alternativa para o incremento da produção de energia elétrica.

6. BIBLIOGRAFIA

ENGTOM Engenharia e Automação Ltda, *Estudo de estabilidade e rejeição de cargas*, 2003.

CEMIG, *Contrato Usina Termelétrica Barreiro S.A.*, 2003.

CEMIG, *Contrato de Energia CEMIG - VMB*, 2003.