

METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO PARA CENTRAIS TERMOELÉTRICAS EM SIDERURGIA ¹

Marco Antônio Cervino²

Resumo

Apresenta a metodologia desenvolvida na USIMINAS para o dimensionamento de uma central termoeletrica, aproveitando a sobra de gases combustiveis e quantificando a necessidade de combustivel complementar.

Palavras-chave: Metodologia; Central termoeletrica; Sobra de gases; Combustivel complementar.

¹ *Contribuição Técnica ao XXVI Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades da ABM, Salvador, 24 a 26 de agosto de 2005.*

² *Engenheiro Mecânico, Gerência Técnica de Energia e Transportes da USIMINAS, Ipatinga, MG*

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do XXV Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades no ano de 2003 as usinas brasileiras integradas a coque perderam o equivalente a 200 MWh/h, decorrente do não aproveitamento total dos gases gerados. No mesmo período essas usinas compraram do sistema elétrico nacional 500 MWh/h (Figura 1), portanto, existe no país um potencial de redução da demanda de Energia Elétrica (EE), via aumento do aproveitamento global dos gases siderúrgicos da ordem de 40%.

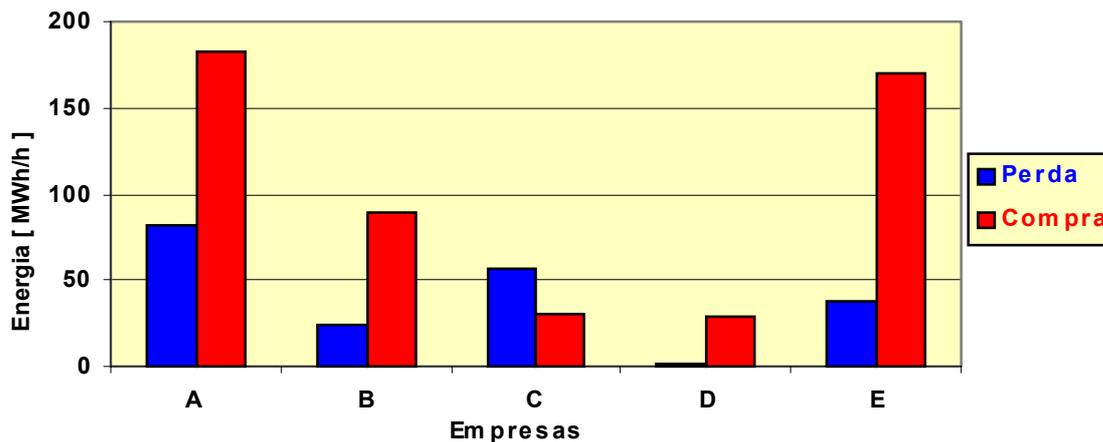


Figura 1. Sobra de Gás x Compra de EE nas Usinas Brasileiras Integradas a Coque em 2003.

A decisão de aumentar o aproveitamento global dos gases e até que nível esse aproveitamento deve ser elevado, depende basicamente da visão econômico-estratégica de cada empresa. Entretanto, essa visão deve ser alicerçada em um estudo que aponte horizontes e defina limites técnicos para a tomada de decisão.

A metodologia apresentada, identifica o potencial energético para uma Central Termoelétrica (CTE) em Usina Siderúrgica, prevendo a necessidade de combustível complementar e o aproveitamento global dos gases no período posterior ao *star-up*, considerando as futuras expansões e as unidades operacionais que serão desativadas. Essa metodologia foi desenvolvida internamente pela equipe da USIMINAS e utilizada no projeto de sua Nova Central Termoelétrica (NCTE).

2 GERAÇÃO X CONSUMO

Durante o processo de produção do aço, em usinas integradas a coque, são gerados gases que se fossem diretamente lançados na atmosfera causariam um grande impacto ambiental, além de configurar uma enorme perda de energia, uma vez que além de tóxicos esses gases são combustíveis.

Conforme mostra a Figura 2, tanto a geração quanto o consumo são variáveis, intercalando ao longo do tempo saldos positivos e negativos. Embora o sistema de geração e distribuição seja dotado de gasômetros, estes não têm capacidade infinita e se esgotam proporcionalmente à velocidade com que os saldos positivos ou negativos se acumulam.

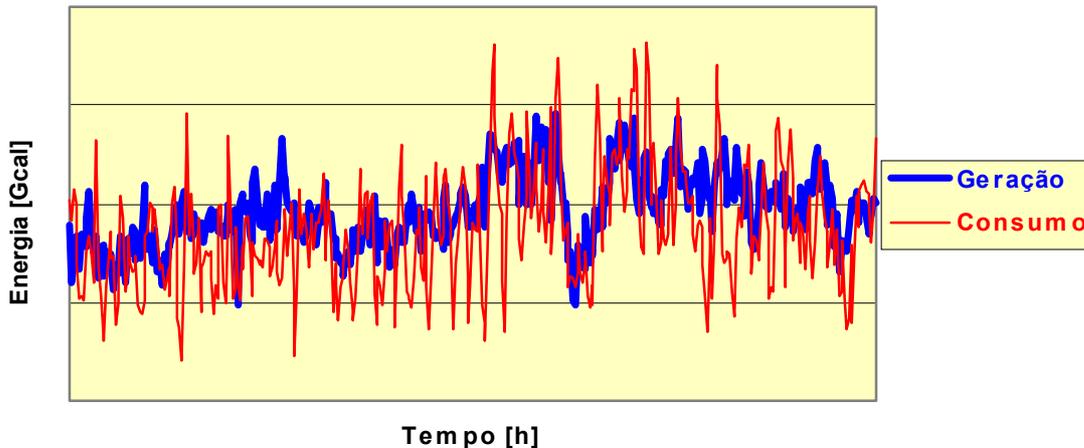


Figura 2. Geração x Consumo de Gases da Usiminas

Existem duas maneiras de se buscar o aproveitamento total dos gases gerados. A primeira delas não se aplica na prática, servindo apenas como modelo teórico, pois considera um gasômetro de capacidade infinita. A segunda maneira é ter um sistema com capacidade de consumo compatível com a geração, gerenciado por um Centro de Energia (CE) eficiente que consiga administrar os períodos de superávit e déficit, equilibrando a segurança e continuidade operacional com a redução do combustível complementar.

Como nas Usinas integradas a coque a geração de gás é proporcional à produção de aço, para tornar o sistema equilibrado são necessários investimentos que tornem o consumo compatível com a geração. Prioritariamente, esses investimentos são direcionados no sentido de reduzir a dependência externa de Combustível Complementar (CC) adaptando fornos, regeneradores, baterias de coque e caldeiras para operarem com gás. Terminada a fase de substituição do CC, o saldo remanescente dos gases, deve ser direcionado para uma CTE com finalidades múltiplas de geração elétrica, vapor de processo e acionamento mecânico.

3 DIMENSIONAMENTO DA CENTRAL TERMOELÉTRICA

Para dimensionar uma CTE, que irá operar com os gases remanescentes do processo siderúrgico, em usinas integradas a coque, é necessário responder a duas perguntas :

- Qual o saldo dos gases?
- Qual a frequência com que esses saldos ocorrem?

Como os saldos são variáveis no tempo (figura 2), deve-se levantar por um período típico as produções e os consumos que irão originar esses saldos.

O levantamento de dados deve ser feito por um período ao qual esteja associado um plano de produção. Após o levantamento de dados, define-se o cenário em que a CTE estará inserida e descartam-se os períodos atípicos que possam comprometer o resultado final, ou seja, a análise é feita considerando um período típico de operação posterior a entrada em operação da CTE. A partir daí, inicia-se o tratamento estatístico dos dados levantados, através de uma projeção

das produções e consumos atuais para o cenário futuro. O resultado dessa extrapolação pode ser visto na Tabela 1.

Na matriz abaixo, as colunas denominadas **Queima**, apresentam a diferença horária entre a geração e o consumo previstos, para o período em que a NCTE estará em operação. Enquanto que as colunas **Outros**, mostram o consumo previsto de unidades atualmente em operação e que serão futuramente desativadas. No caso da USIMINAS, o saldo só aparece nas colunas referentes aos Gases do Alto Forno (GAF) e Aciaria (GAC), uma vez que 100% do Gás de Coqueria (GCO) é aproveitado internamente.

Tabela 1. Matriz horária com o saldo dos gases.

| Hora | Saldo de GCO [Gcal] | | Saldo de GAF [Gcal] | | Saldo de GAC [Gcal] | |
|----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | Queima | Outros | Queima | Outros | Queima | Outros |
| H ₁ | Qc ₁ | Oc ₁ | Qb ₁ | Ob ₁ | Ql ₁ | Ol ₁ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| H _n | Qc _n | Oc _n | Qb _n | Ob _n | Ql _n | Ol _n |

3.1 Quantificação do Combustível Complementar

Com os dados da Tabela 1 é possível quantificar o saldo dos gases, a frequência com que eles ocorrem e, conseqüentemente, a demanda de combustível complementar para a CTE. A metodologia desenvolvida pode ser melhor visualizada através da Figura 3.

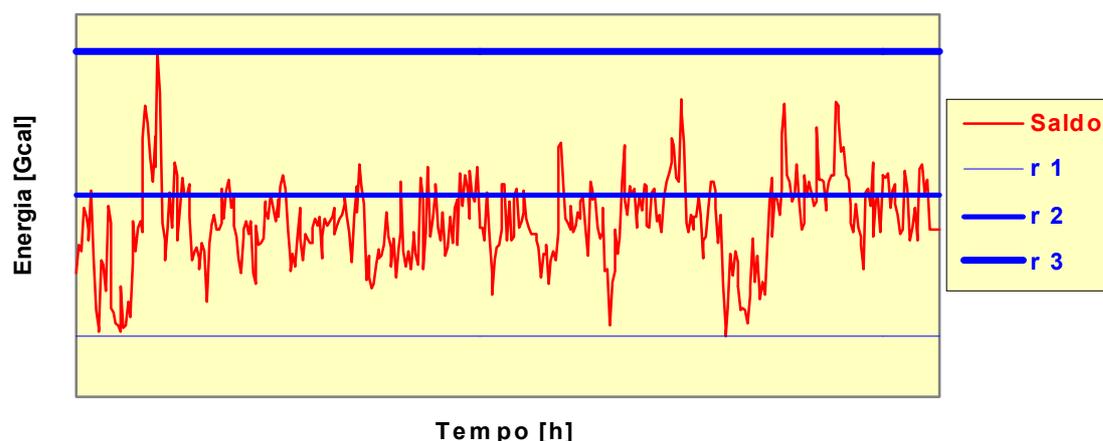


Figura 3. Saldo dos gases x Demanda nova CTE.

Na Figura 3 a curva de saldo é construída a partir da soma algébrica dos dados das colunas **Queima** e **Outros** (tabela 1), enquanto as retas “r1”, “r2” e “r3” representam o consumo de combustíveis de três possíveis centrais termelétricas,

tendo cada uma delas potência instalada proporcional à sua demanda de combustível.

Conforme se observa, a reta “r1” define uma CTE com demanda igual ao menor saldo de combustíveis, já a reta “r3” define outra CTE com demanda igual ao maior saldo. Entre “r1” e “r3” está a reta “r2”, definindo uma CTE de demanda intermediária. A integração das diferenças entre uma das retas “r” e a curva de saldo é igual à necessidade de CC para manter estável a geração dessa CTE, expressa matematicamente abaixo:

$$N_c = \int_t^{(t + \Delta t)} R(t) dt - \int_t^{(t + \Delta t)} S(t) dt, \quad \text{para: } R(t) > S(t)$$

$$N_c = 0, \quad \text{para: } R(t) \leq S(t)$$

Onde : R (t) = equação da reta “r” escolhida em função do tempo;
 S (t) = equação da curva de saldo total em função do tempo;
 t = tempo;
 Nc = necessidade de combustível complementar.

3.2 Quantificação do Combustível Estabilizador

Para a segurança operacional do sistema, deve-se prever uma concentração mínima (β) de combustível com Poder Calorífico Inferior (PCI) maior ou igual ao do GAC, que garanta chama contínua no interior da fornalha da caldeira. Estabelecida a concentração (β) de combustível rico, a participação do GAF na mistura de combustíveis queimados, não deverá exceder a $1-\beta$.

O conjunto de equações que determinam o consumo de combustível estabilizador para segurança operacional da caldeira é apresentado abaixo:

$$N_e = 0, \quad \text{para: } S_B(t) \leq (1 - \beta) \cdot R(t) \quad \text{e/ou} \quad S_L(t) \geq \beta \cdot R(t)$$

$$N_e = \int_t^{(t + \Delta t)} S_B(t) dt - (1 - \beta) \cdot \int_t^{(t + \Delta t)} R(t) dt,$$

$$\text{para: } S_B(t) > (1 - \beta) \cdot R(t) \quad \text{e} \quad S_L(t) < \beta \cdot R(t) \quad \text{e} \quad S_B(t) + S_L(t) \leq R(t)$$

$$N_e = \beta \cdot \int_t^{(t + \Delta t)} R(t) dt - \int_t^{(t + \Delta t)} S_L(t) dt,$$

$$\text{para: } S_B(t) > (1 - \beta) \cdot R(t) \quad \text{e} \quad S_L(t) < \beta \cdot R(t) \quad \text{e} \quad S_B(t) + S_L(t) > R(t)$$

Onde: R (t) = equação da reta “r” escolhida em função do tempo;
 t = tempo;

$S_B(t)$ = equação da curva de saldo de GAF em função do tempo;

$S_L(t)$ = equação da curva de saldo de GAC em função do tempo;

N_e = necessidade de combustível estabilizador;

β = concentração mínima de combustível com PCI rico.

3.3 Aproveitamento Global dos Gases

O aproveitamento global dos gases, previsto após a instalação da CTE é quantificado pela expressão :

$$Ap = 100 \times \left[1 - \frac{\int_t^{(t + \Delta t)} S(t) dt - \int_t^{(t + \Delta t)} R(t) dt}{P_G} \right],$$

para: $R(t) \leq S(t)$.

Onde : $R(t)$ = equação da reta "r" escolhida em função do tempo;

t = tempo;

$S(t)$ = equação da curva de saldo final em função do tempo;

Ap = aproveitamento global dos gases;

P_G = produção global dos gases.

A medida que "r1" avança no sentido de "r3", diminui a perda, aumentando o aproveitamento dos gases e a necessidade de combustível complementar. Portanto, para cada nível de "r" corresponde um par CC e Aproveitamento. Plotando o aproveitamento previsto, após a instalação da CTE, e o consumo de CC correspondente aos diversos níveis de "r", obtém-se o gráfico da Figura 4.

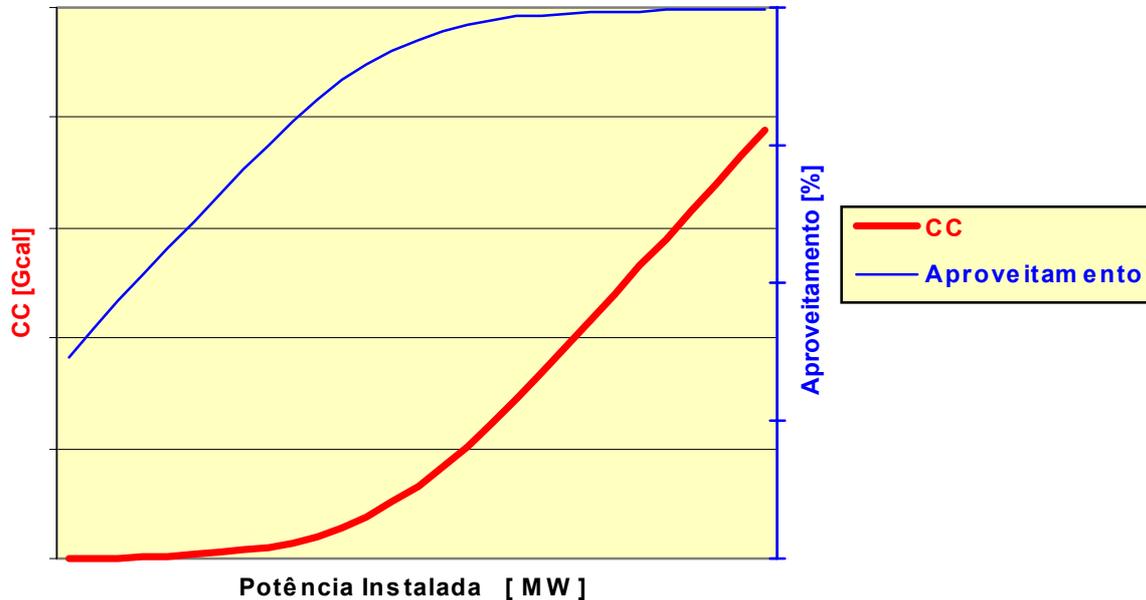


Figura 4. Consumo de CC e Aproveitamento Global dos gases para diversas Dimensões da NCTE – Caso USIMINAS.

4 DEMANDA DE VAPOR PARA PROCESSO

Outro aspecto a ser considerado para o dimensionamento de uma CTE, tão importante como estabelecer o energético disponível, é a demanda de vapor para o processo. Num sistema consorciado de geração de EE e vapor para processo (Figura 5), a variação da demanda de vapor, reflete diretamente na disponibilidade deste no interior da turbina. Se o gerador não tiver capacidade de absorver estas variações, a geração de vapor será afetada, implicando na modulação da produção da caldeira e no consumo de combustível.

Como a CTE é dimensionada para operar com as sobras de gás, a falta de flexibilidade do equipamento para absorver as flutuações da demanda de vapor para processo implica na perda de combustível.

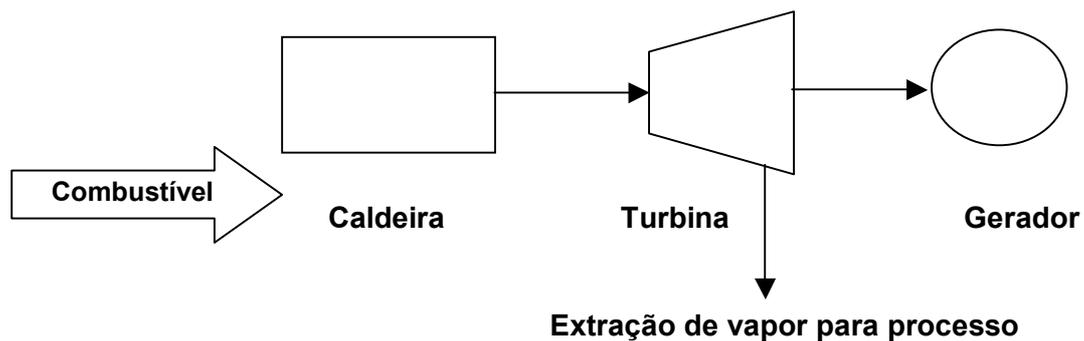


Figura 5. Diagrama simplificado de um sistema de cogeração.

Para otimizar o uso dos combustíveis reduzindo a queima de gases, o custo com equipamentos e com o CC é necessário analisar e estabelecer as demandas de vapor de processo (Figura 6), necessárias no dimensionamento do conjunto turbina/gerador.

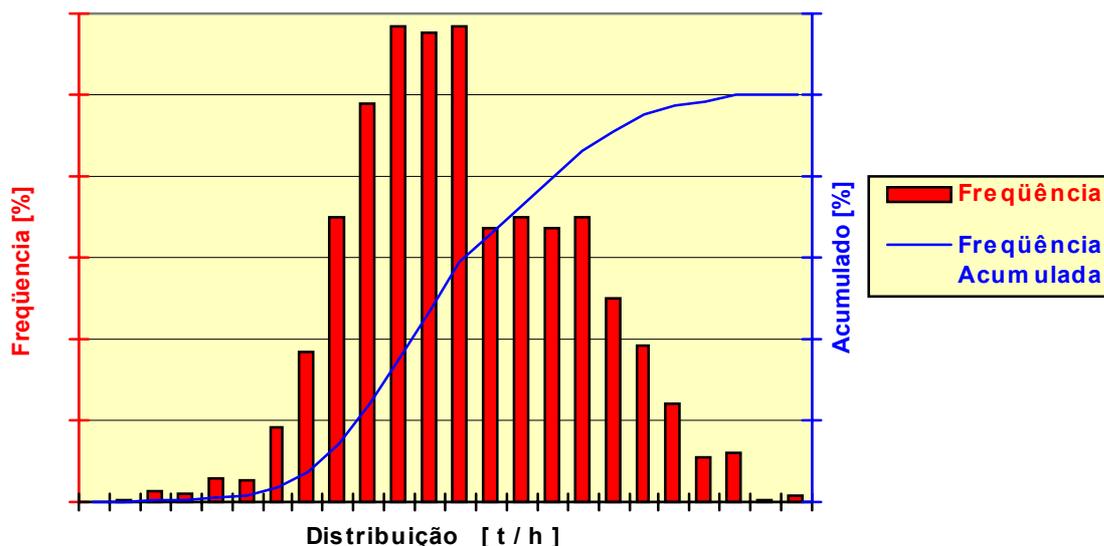


Figura 6. Projeção da distribuição de frequência da demanda de vapor para o processo da USIMINAS.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso no dimensionamento de uma CTE, para operar com gases do processo siderúrgico, está vinculado à confiabilidade das medições e ao grau de certeza que se tem com relação a formatação do cenário no qual a CTE estará inserida.

Disparidades entre os valores medidos e os valores reais, podem multiplicar o saldo dos gases, que é calculado pela diferença entre a geração e os consumos previstos.

Definições claras quanto às unidades siderúrgicas que entrarão em operação, sofrerão reformas que alterem a sua capacidade, bem como daquelas que serão desativadas, são premissas básicas para formatação do cenário em que a CTE irá operar.

O gráfico apresentado na Figura 4, correlaciona a capacidade instalada da NCTE, com a sua demanda de CC e o aproveitamento global dos gases previsto, servindo como suporte para tomada de decisão, na medida em que estabelece limites técnicos. A definição quanto ao porte da CTE e o conseqüente aumento do aproveitamento global dos gases, depende da visão econômico-estratégica de cada empresa, alicerçada nos limites técnicos calculados e nos cenários previstos de :

- Demanda x Oferta futura de EE nacional;
- Potencial interno de otimização energética;
- Custo previsto da EE;
- Custo dos recursos monetários para implantação do projeto;
- Expansões da empresa;
- Custos de operação e manutenção da CTE;
- Legislação e política ambiental da empresa.

6 CONCLUSÃO

A metodologia apresentada, permite estabelecer o potencial energético para uma CTE, maximizando o uso dos energéticos disponíveis à um menor custo, tendo como premissas básicas as demandas presente e futura de combustíveis.

Na USIMINAS, a NCTE foi dimensionada para 202 Gcal/h, sendo que desse total 21 Gcal/h são de CC. Além do dimensionamento, a metodologia prevê o aproveitamento global dos gases de aproximadamente 98,5%, no período posterior a entrada em operação da NCTE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 25., 2004, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: ABM, 2004.

METHODOLOGY FOR A DIMENSION OF A THERMOELECTRIC PLANT IN STEEL MILL ¹

Marco Antônio Cervino²

Abstract

This paper presents the methodology developed by USIMINAS of dimensioning of a Thermoelectric Plant, utilizing leftover combustible gases and quantifying the necessity of a complementary combustible.

Key-words: Methodology; Thermoelectric plant; Leftover gases; Complementary combustible.

¹ *Technical Contribution for XXVI Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades da ABM, Salvador, from august 24th to 26th, 2005.*

² *Mechanical Engineer, Technical Management of Energy and Transportes from USIMINAS, Ipatinga, MG*