

INDICADORES DE EFICIÊNCIA EM COGERAÇÃO

AUTORES:

Rolando Nonato de Oliveira Lima¹
Paulo Cezar Fernandes²

RESUMO:

Através do estudo comparativo de indicadores significativos e largamente utilizados na prática corrente, procura-se demonstrar qual dentre eles é realmente capaz de fornecer uma resposta consistente, quando se compara a cogeração com a alternativa de produção separada de calor de processo e potência elétrica/mecânica. A expectativa é obter um parâmetro realmente convincente através da plotagem comparativa de vários deles, aplicados numa situação prática bastante comum e, com certas complexidades adicionais, ou seja, uma turbina de contrapressão com taxa potência/calor de processo flexibilizada.

PALAVRAS-CHAVE: cogeração, eficiência artificial, economia de combustível.

XXV Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades
24 a 26 de agosto de 2004
Florianópolis - Santa Catarina

1 – Professor Adjunto – UFSJ
2 – Engenheiro Industrial Mecânico – UFSJ

INTRODUÇÃO

A cogeração certamente passa a constituir uma das alternativas mais adequadas ao Brasil, principalmente considerando o risco de déficit e, também as oportunidades existentes inaproveitadas no diversos segmentos industriais do país. A análise estritamente técnica da cogeração com suas vantagens está razoavelmente bem fundamentada, mas há uma certa margem de ajustes a serem feitos na escolha dos indicadores técnicos/termodinâmicos capazes de realmente mapear as vantagens da cogeração, vis-à-vis sua alternativa de geração separada ou convencional. Pretende-se então mostrar a consistência ou não de tais parâmetros para que o tomador de decisões não corra riscos em suas escolhas.

SOBRE INDICADORES EM GERAL

A cogeração ou produção combinada de energia elétrica (mecânica) e calor de processo, tem sido aplicada em escala razoável com sucesso no mundo inteiro. No Brasil a sua participação ainda é tímida embora se reconheça seu potencial. Nichos industriais específicos como indústria siderúrgica, petroquímica, refinarias de petróleo, papel e celulose e indústria cimenteira, são referências para estudo de viabilidade de implantação dessa tecnologia.

Ao se tratar de cogeração e sua contrapartida de geração separada convencional e, de sistemas conversores de energia em geral, há vários indicadores técnicos/termodinâmicos para se estabelecer um referencial de comparação. Em caldeiras a vapor, por exemplo, a entrada energética via combustível é comparada com o produto final presente no vapor. Assim, define-se uma eficiência de primeira lei chamada geralmente de eficiência da caldeira, e definida aqui como $\eta_c = (Q_H \div F)$. Aqui Q_H é a energia térmica presente no vapor, fluxo de massa de vapor vezes o salto entálpico obtido na caldeira. E F representa a energia presente no combustível gasto para produzir o vapor, fluxo de massa de combustível vezes seu poder calorífico inferior. Há também a eficiência convencional térmica de ciclos, denominada aqui de η_T e, definida como $\eta_T = (W \div F)$, onde W representa a potência elétrica/mecânica produzida e, F o mesmo da definição anterior.

Também há um indicador técnico largamente utilizado pela indústria de produção de energia denominado heat rate e, definido por $HR = (F \div W)$, medido em BTU/kWh no sistema inglês e, KJ/kWh no sistema internacional. E, tanto nos esquemas de cogeração como naqueles produtores de energia térmica e elétrica de forma separada, há dois indicadores muito utilizados: a taxa potência/calor de processo e, o fator de utilização de combustível. A taxa, denominada aqui de SK é definida como $SK = (W \div CP)$ e, o fator de utilização $FUC = \{(W + CP) / F\}$, onde W é a potência produzida, CP o calor de processo e, F a energia fornecida via combustível e anteriormente já definida. Resulta em números adimensionais.

HORLOCK (1987) identifica um parâmetro nomeado por ele de eficiência artificial aplicável em esquemas de cogeração e, definido por $\eta_a = W \div \{F_{cog} - (CP \div \eta_c)\}$. Aqui F_{cog} é a entrada de combustível para o arranjo cogrador, CP é o calor de processo produzido e, η_c a eficiência de uma caldeira convencional já vista anteriormente. Assim a eficiência artificial é muito similar à eficiência térmica convencional de ciclos, pois se desconta de forma “artificial” o combustível consumido para produção do calor de processo do combustível total fornecido ao arranjo cogrador. Tudo se passa como se o calor de processo tivesse sido produzido numa caldeira convencional e, essa é uma maneira “artificial” de se

enxergar o arranjo cogeador, pois na verdade o calor de processo foi produzido ali e de forma seqüenciada.

O parâmetro proposto nesse trabalho para fins de investigação é denominado economia de combustível e, pode ser visto sob a ótica energética (unidades de “energia” kW, BTU/h) ou monetária (R\$, US\$). É definido por $EC = (F_{conv} - F_{cog})$, onde F_{conv} é o input de combustível para a geração separada e, F_{cog} é o mesmo input para o arranjo cogeador. Dessa forma EC pode ser negativo, zero ou positivo. No primeiro e segundo casos a cogeração não representaria uma boa alternativa em relação à produção separada. No terceiro caso dependendo da ordem de grandeza alcançada a cogeração poderia então ser uma boa alternativa. É importante observar que sempre será possível converter o parâmetro da base energética para a base econômica.

METODOLOGIA E RESULTADOS COMPARATIVOS

Uma planta de cogeração de referência foi utilizada para validar os comparativos feitos. Foi introduzida uma complexidade adicional na planta que usa uma turbina de contrapressão. Esse arranjo é o mais complicado em termos de resultados de indicadores. Por exemplo, sabe-se que o fator de utilização aplicado nesse tipo de arranjo resulta numa eficiência igual aquela de uma caldeira, conforme já demonstrado por SCHWARZENBACH (1980). O que colocaria esse arranjo no topo de um eventual ranking, mas que é desmentido pela prática corrente onde os ciclos combinados são normalmente os mais eficientes. A figura 01 a seguir mostra o essencial do arranjo adotado.

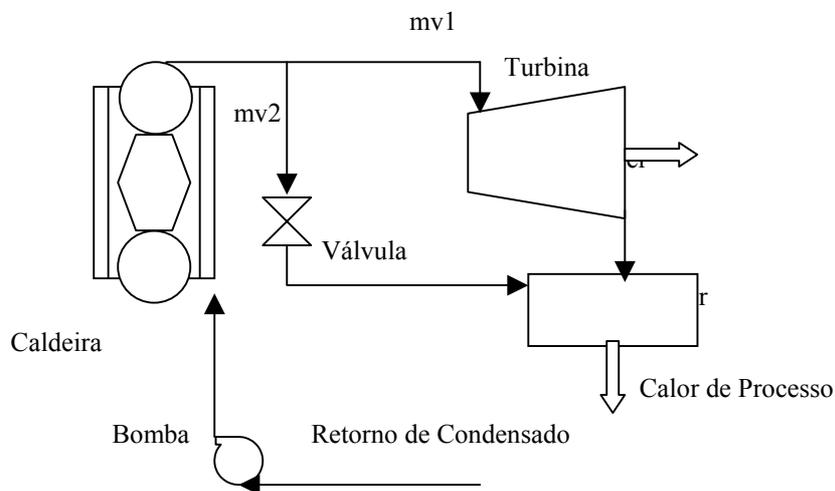


Figura 01. A planta de contrapressão utilizada como referência.

Na planta de referência a taxa potência/calor de processo variável é obtida via inserção de uma válvula controladora que permite alguns ajustes, pois as turbinas de contrapressão são razoavelmente rígidas nesse particular. É de se esperar que isso influencie diretamente o comportamento do arranjo, pois essa característica operacional tende a comprometer o desempenho quando maior fluxo de massa escoar pela válvula. Assim quando houver maior demanda por calor de processo sem o correspondente aumento de potência, haverá um fluxo adicional de vapor pela válvula. O fluxo de vapor da turbina é destinado à produção de potência e, na seqüência à produção do calor de processo que lhe é atrelado.

Como os estudos foram derivados de uma planta similar dada em POLSKY (1985), a economia de combustível será avaliada aqui com unidades do sistema inglês (MBTU/h). As características operacionais anuais da planta cogeneradora são dadas na tabela 01 a seguir. Na planta convencional ou de geração separada foram adotados uma eficiência de caldeira de 80% e, de ciclo térmico de 34%.

Mês	Potência		Calor de Processo
	Kw	BTU/h	BTU/h
Janeiro	2.300	7,85E+06	4,00E+07
Fevereiro	2.300	7,85E+06	4,00E+07
Março	5.800	1,98E+07	3,56E+07
Abril	5.800	1,98E+07	3,56E+07
Mai	10.420	3,56E+07	3,20E+08
Junho	11.332	3,87E+07	3,96E+08
Julho	8.100	2,76E+07	3,96E+08
Agosto	8.100	2,76E+07	3,96E+08
Setembro	9.200	3,14E+07	3,96E+08
Outubro	9.200	3,14E+07	2,00E+08
Novembro	10.420	3,56E+07	2,00E+08
Dezembro	10.420	3,56E+07	2,00E+08

Tabela 01 – Característica Operacionais da Planta de Cogeração

O primeiro comparativo é feito entre a economia de combustível e a eficiência artificial definida por HORLOCK (1987). A figura 02 na seqüência mostra o resultado desse comparativo.

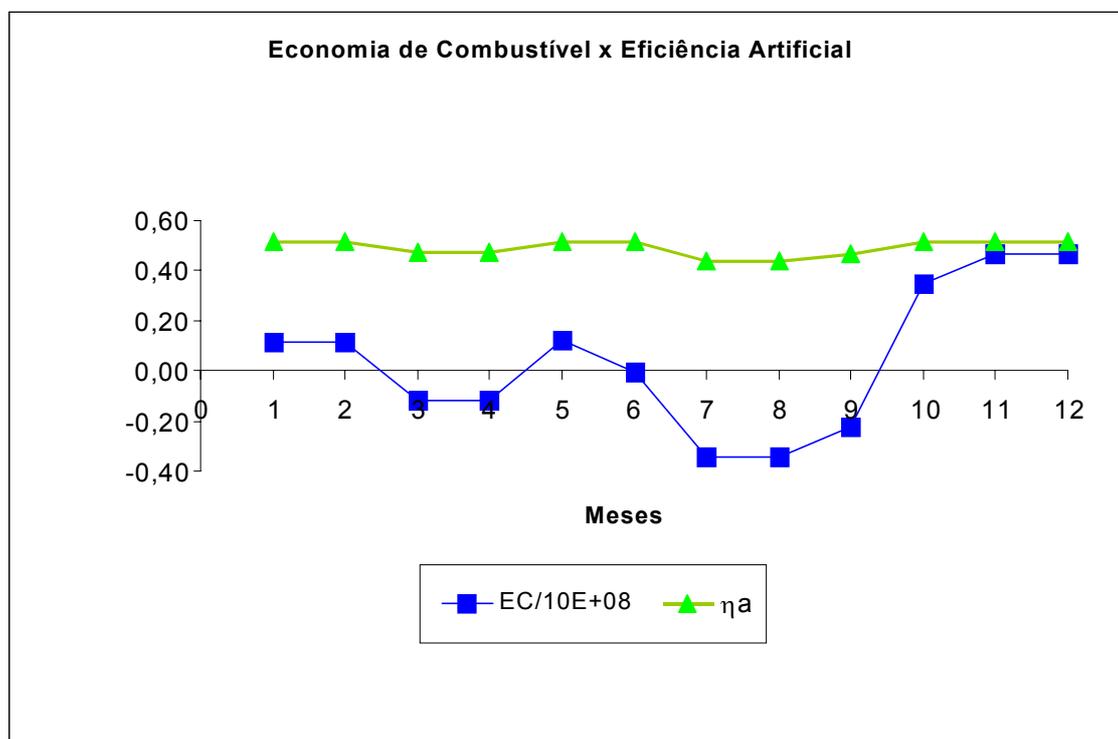


Figura 02 - Economia de combustível x Eficiência Artificial

Na figura 02 o parâmetro mostra toda sua consistência. Quando a cogeração é penalizada com redução na economia de combustível relativa à geração separada, a eficiência artificial cai, indicando piora de desempenho do arranjo cogerador. O inverso também é evidenciado, ou seja, quando a economia de combustível melhora o mesmo ocorre com a eficiência artificial. Como a eficiência artificial é um indicador de desempenho do arranjo cogerador, esse comportamento perfeitamente acoplado mostra que a economia de combustível é realmente um parâmetro bastante consistido.

A próxima plotagem, figura 03, compara a economia de combustível com os fluxos de massa de vapor pela válvula e turbina.

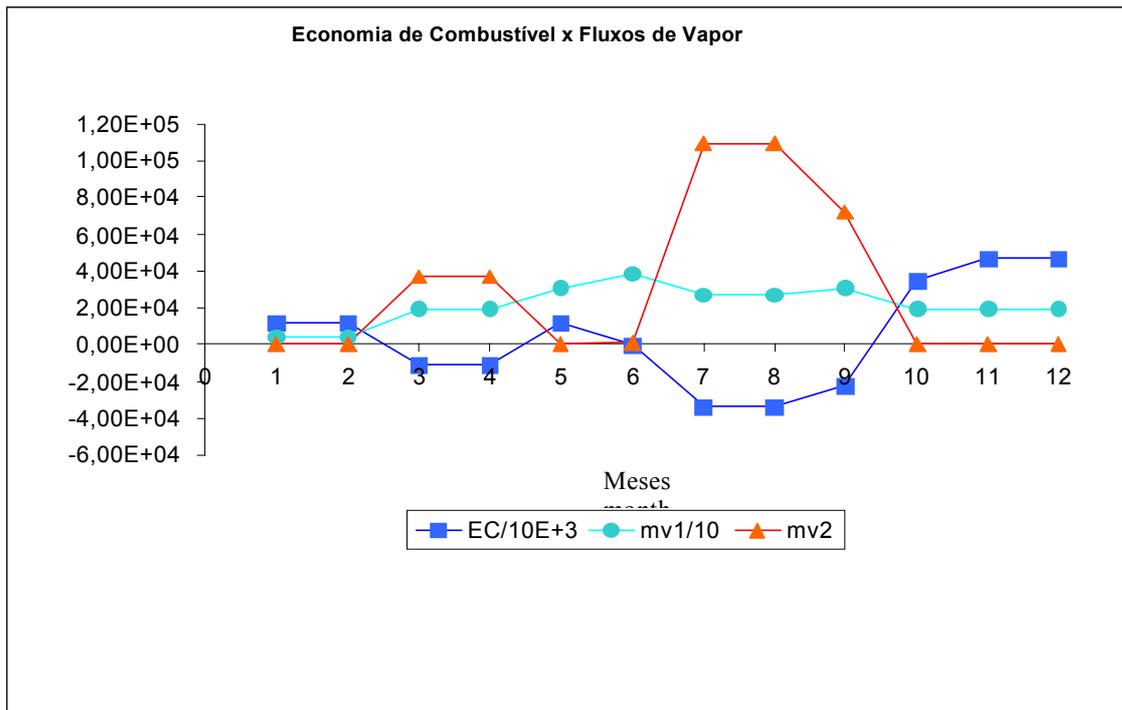


Figura 03. Economia de Combustível x Fluxos de Vapor

Extrair vapor pela válvula resulta em penalizar a cogeração, pois há perda de potência nesse caso. Como a potência é o mais valioso dos dois produtos é de se esperar que a economia de combustível sinalize tal fato. E a figura 03 mostra isso de forma inequívoca. Assim, para sustentar uma taxa SK variável o arranjo cogerador paga uma penalidade pesada e, é por isso que esse modo operandis deve ser mantido em situações muito específicas e, no menor intervalo de tempo possível. A alternativa tecnológica seria a instalação de uma turbina de extração-condensação, que já tem uma taxa SK flexível naturalmente.

A última plotagem, figura 04, compara a economia de combustível com a heat rate, um parâmetro largamente utilizado em literatura tecnológica. Novamente a economia de combustível mostra consistência. Quando há queda da heat rate, indicando melhora no comportamento da cogeração, a economia de combustível aumenta, sinalizando o efeito de melhora de desempenho obtido. Quando a heat rate aumenta, sinalizando piora de desempenho da cogeração, a economia de combustível cai, indicando sua consistência como parâmetro sinalizador de desempenho.

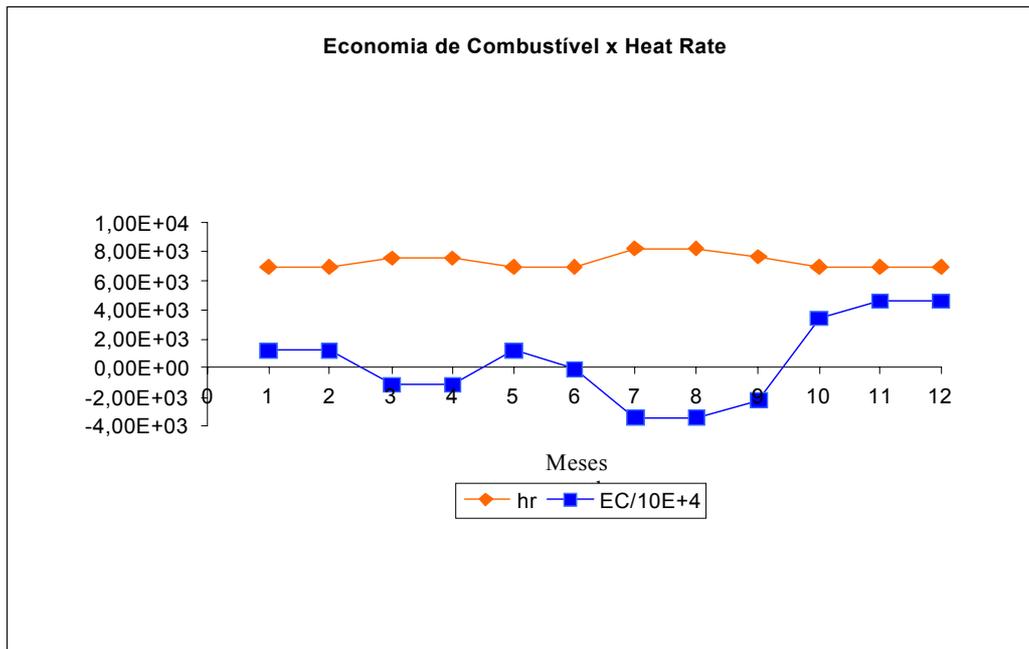


Figura 04. Economia de Combustível x Heat Rate

A plotagem da economia de combustível contra o fator de utilização de combustível produziu resultados sem a menor consistência (nenhuma tendência “lógica” detectada). Isso é porquê o fator de utilização de combustível é o menos apropriado dos parâmetros para comparativos de cogeração, conforme já detectado por POLSKY (193,1985). Portanto o fator de utilização deve ser evitado em qualquer caso. O comentário inicial de que quando ele é aplicado ao arranjo em apreço, produz um valor idêntico ao de uma caldeira convencional, é extremamente apropriado aqui.

CONCLUSÃO

Com a metodologia aqui delineada e, as plotagens obtidas das várias comparações possíveis, espera-se ter demonstrado a utilidade do parâmetro economia de combustível como balizador de comparativos entre instalações cogedoras e convencionais. O parâmetro foi utilizado aqui em base energética, mas a passagem para base monetária é direta. Assim, no que diz respeito a indicadores técnicos/termodinâmicos é altamente recomendável utilizar a economia de combustível como referencial.

COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

Parâmetros técnicos e termodinâmicos isolados constituem apenas uma primeira etapa de avaliação comparativa. Deve ser feita também uma análise complementar onde se utilizam indicadores de viabilidade econômica como valor presente líquido, taxa interna de retorno, crossover, valores de tarifa de energia elétrica comprada e excedente, custos diversos das instalações, custos de combustível e impostos. Isso garantirá maior abrangência e consistência bem sólida ao estudo apresentado. Poder-se-ia também avaliar impactos de outros parâmetros como custo da energia comprada, alavancagem do investimento (linhas especiais de financiamento). De qualquer forma a análise apresentada aqui tem um grau

razoável de solidez para fins de tomada de decisão, no aspecto ligado aos indicadores técnicos/termodinâmicos.

BIBLIOGRAFIA:

- HORLOCK, J.H. **Cogeneration Combined Heat & Power (CHP) Thermodynamics and Economics**; England, Pergamon Press, 1987.
- POLSKY, M.P. and HOLLMEIER R.J. What is cogeneration Effectiveness? **Hydrocarbon Processing**, July; p. 75 ~ 78, 1983.
- POLSKY, M.P. and HOLLMEIER R.J. Evaluating Cogeneration Effectiveness. **Plan Congener System**, Cap 7, p. 77 ~ 90, 1985.
- SWARZENBACH, A. Cogeneration: Fundamental Considerations. **Brown Boveri Rev.**, March, p. 160 ~ 165, 1980.

SIMBOLOGIA

η_a	eficiência artificial
η_c	eficiência de caldeira
η_t	eficiência térmica de ciclos
CP	calor de processo
EC	economia de combustível
F	input de combustível para plantas convencionais
F _{cog}	input de combustível para plantas cogedoras
F _{conv}	input de combustível para plantas de geração separada
FUC	fator de utilização de combustível
HR	heat rate
mv1	fluxo de vapor para a turbina na planta de referência
mv2	fluxo de vapor para a válvula na planta de referência
Q _H	energia térmica do vapor numa caldeira convencional
SK	taxa potência/calor de processo
W	potência

Efficiency Indicators in Cogeneration Schemes

AUTHORS:

Rolando Nonato de Oliveira Lima¹
Paulo Cezar Fernandes²

ABSTRACT:

This work makes an analysis about technical and thermodynamics indicators in cogeneration schemes. With the recent crisis of energy supply in Brazilian market, cogeneration starts to play an excellent alternative for composition of energetic matrix of the country. One of the most important steps in cogeneration analysis is the identification of technical and thermodynamic indicators that establish a comparative frame between the possible arrangements proposed, including separated production of heat and power. Thus the objective is to show which is the more consistent parameter between the various possible indicators. An installation with a backpressure turbine is used for reference, because this is the more complicated one. Additional operational characteristics like variable power to heat ratio are inserted in the reference plant to validate the study in a more complex scenario.

Keywords: cogeneration, artificial efficiency, fuel economy.

XXV Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades
24 a 26 de agosto de 2004
Florianópolis - Santa Catarina

1-Associated Professor – DSc. Energetic Planning
Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ – Brazil

2- Mechanical Engineer
Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ – Brazil