

## Avaliação do custo marginal da geração de eletricidade por ciclos de potência a vapor no setor sucroalcooleiro

João Pedro F. Gonzalez, Joaquim E. A. Seabra

### Resumo

O trabalho avaliou os custos marginais da geração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro, considerando modificações no sistema de potência a vapor das usinas. Foram analisadas opções para aumentar a temperatura média no fornecimento de calor, incluindo o aumento da pressão e temperatura da caldeira e do número de pré-aquecedores da água de alimentação.

### Palavras-chave:

Cogeração, Bagaço, Cana-de-açúcar.

### Introdução

Hoje as opções comerciais para a geração de energia nas usinas de cana estão restritas a sistemas de cogeração baseados em ciclos a vapor. Ainda assim, um grande ganho de eficiência pode ser alcançado através da adoção de sistemas de cogeração mais avançados que o padrão atualmente utilizado, mesmo nas usinas novas. Todavia, a adoção de sistemas mais eficientes usualmente resulta em necessidades de investimento mais elevadas, de forma que se faz necessário avaliar a competitividade desses sistemas no contexto do mercado de energia elétrica brasileiro.

### Resultados e Discussão

O projeto avaliou a curva de custos marginais da geração de eletricidade por ciclos de potência a vapor no setor sucroalcooleiro. Assim, podemos dividir a elaboração do mesmo em duas etapas, a análise dos ciclos termodinâmicos, e a avaliação de seus custos.

A configuração do sistema de potência de referência desta análise foi baseada no padrão usual das novas usinas de cana-de-açúcar e recentes projetos de retrofit instalados no Centro-Sul do Brasil. A escala de referência foi adequada para atender a uma usina que processa 4 Mt cana por safra, com consumos específicos de energia, por tonelada de cana processada, de 500 kg de vapor (saturado a 2,5 bar) e 30 kWh de energia elétrica. Na configuração de referência, o sistema de cogeração é equipado com uma caldeira que produz vapor a 68 bar e 480°C.

A primeira modificação estudada (Ciclo 1) foi a alteração da pressão e temperatura na caldeira para 90 bar e 520°C. O segundo ciclo analisado (Ciclo 2) possui mais um pré-aquecedor de água de alimentação da caldeira (neste caso, fechado) e uma extração adicional na turbina.

O terceiro e último ciclo estudado (Ciclo 3) conta com dois pré-aquecedores fechados e, conseqüentemente, três extrações de vapor na turbina.

Com o estudo destes ciclos e de seus custos, foram avaliados a energia marginal de cada configuração em relação ao ciclo de referência e os respectivos custos marginais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Energia e custo marginais dos ciclos estudados.

Configuração	Energia Marginal (kWh/t cana)	Custo Marginal (R\$/MWh)
Ciclo 1	6	128
Ciclo 2	12	107
Ciclo 3	16	128

### Conclusões

O projeto se mostrou aplicável na indústria, com a avaliação de quatro configurações de plantas de cogeração a bagaço. Através da análise termodinâmica e econômica, foi possível quantificar o aumento de eficiência dos ciclos, assim como o custo associado a esse ganho de eficiência. Para as condições assumidas nesse trabalho, os custos marginais se mostraram compatíveis com os preços correntes de eletricidade gerada a partir de biomassa no Brasil.

### Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pelo auxílio financeiro para realização deste trabalho e à Unicamp por fornecer a infraestrutura necessária.