



A COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO SETOR DE PAPEL E CELULOSE: AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA

Silvia M. S. G. Vélazquéz

Suani T. Coelho

Américo Varkulya Jr.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa

Universidade de São Paulo

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289

05508-900 - Cidade Universitária

São Paulo - SP

***Resumo.** O setor de papel e celulose é um dos segmentos industriais com maior consumo de energia, tendo consumido em 1997 mais de 10000 GWh de eletricidade fornecido pelas concessionárias, cerca de 8% do consumo no setor industrial. Entretanto, apesar da grande quantidade de subprodutos de processo existentes nas indústrias integradas e de celulose, o setor ainda apresenta reduzida capacidade de auto-geração. Por outro lado, observou-se um aumento significativo no consumo de fósseis, em detrimento de combustíveis renováveis, com uma maior emissão de poluentes. Neste contexto, o presente trabalho analisa um grupo de empresas, correspondendo a aproximadamente 47% da produção total, visando a introdução de tecnologias mais eficientes e com menor impacto ambiental. A partir de levantamentos efetuados, foi analisada a situação atual dos sistemas de cogeração existentes, sendo avaliado o potencial de geração de eletricidade com a introdução de tecnologias mais eficientes. Foram considerados combustíveis com menores emissões poluentes, como a biomassa e/ou gás natural. Verifica-se que a cogeração no setor pode ser uma opção importante para contribuição na oferta de energia. Entretanto, apesar das vantagens ambientais, há dificuldades econômicas. O custo da energia gerada não é competitivo com as tarifas oferecidas pelas concessionárias (R\$43-45/MWh, em média), havendo necessidade de outros mecanismos.*

***Palavras-chave:** energia elétrica, geração termelétrica, cogeração, biomassa, gás natural.*

1. INTRODUÇÃO

O segmento de papel e celulose está incluído entre os mais eletro-intensivos do setor industrial. As indústrias de celulose, bem como as integradas (fabricantes de papel e celulose) geram grande parte da energia consumida (50 a 60%), a partir da lixívia produzida no próprio processo e de biomassa em geral (resíduos de madeira). No entanto as indústrias de papel produzem apenas 10% da eletricidade necessária no processo, sendo o restante comprado das concessionárias, pelo fato de não terem disponibilidade de combustível produzido nas próprias empresas (Coelho e Ieno, 1993).

As indústrias de celulose e as integradas utilizam como combustível complementar nas caldeiras, para a geração de vapor, lenha e óleo combustível, além dos subprodutos do processo mencionados acima. Este vapor, antes de ser utilizado no processo de fabricação, é também usado para produção de energia elétrica, através da cogeração (Fonseca, 1992, Bonomi, 1985). A utilização de tecnologias mais eficientes, com melhor aproveitamento da biomassa (subprodutos) permitiria um maior geração de eletricidade, com a vantagem de garantir o suprimento de energia nas situações de interrupções no fornecimento.

Por outro lado, em vista da crítica situação que o setor elétrico atravessa (Coelho e Zylbersztajn, 1998), a introdução destas tecnologias corresponderia a uma importante contribuição à oferta de energia, permitindo maior participação do setor privado na geração de eletricidade (Cury et al, 1997, Scheleder, 1997).

Os riscos de déficit sinalizados para o fornecimento de energia são cada vez mais elevados pois o aumento do consumo de energia elétrica, associado a períodos de poucas chuvas, tende a agravar a situação do abastecimento, devido às características essencialmente hidráulicas da capacidade instalada no país. As previsões da Eletrobrás indicam uma participação cada vez maior da termeletricidade na geração de energia, na expectativa da participação de investidores privados (Eletrobrás, 1997). Está prevista, portanto, a curto prazo, a construção de termelétricas, mas dependendo da participação de capital privado.

Há, ainda, a preocupação com o aumento do custo do gás natural proveniente da Bolívia, devido à recente elevação do dólar. Nesse cenário, a auto-suficiência (mesmo que não ocorra a venda de excedentes de eletricidade) de cogeradores, como no setor de papel e celulose, poderia ser uma opção interessante para contribuir na oferta de energia.

Dentro deste contexto, o presente trabalho analisa o potencial de cogeração para um grupo de empresas (integradas), correspondendo a aproximadamente 47% da produção total nacional, incorporando tecnologias mais eficientes, já comercializadas no país. Os levantamentos efetuados permitiram a avaliação da situação atual dos sistemas de cogeração existentes nas empresas da amostra, sendo a seguir avaliado o potencial com a introdução de tecnologias mais eficientes. Na análise técnica foram considerados combustíveis com menores emissões poluentes, como a biomassa e/ou gás natural. Os resultados para o grupo de indústrias da amostra indicam que, com a utilização de turbinas de condensação extração (ciclo CEST), o total gerado seria 276.940 MWh/mês, correspondendo a uma redução no déficit de energia elétrica de 75.254 MWh/mês, sendo que na situação atual o déficit é de 183.127 MWh/mês. Com a adaptação de turbina a gás em ciclo combinado, obtém-se um total gerado de 425.246 MWh/mês, com um excedente de 73.051 MWh/mês.

Neste trabalho foram analisadas apenas as indústrias integradas, uma vez que outros trabalhos já analisaram o potencial nas indústrias de papel (Coelho et al., 1995, Coelho et al., 1993). Também os benefícios ambientais foram analisados em outros estudos (Villanueva e Coelho, 1998), com a comparação das emissões de poluentes quando o óleo combustível é substituído pelo gás natural.

Entretanto, apesar das vantagens ambientais e estratégicas, a análise econômica efetuada indica dificuldades econômicas, pois o custo da energia gerada não é competitivo com as tarifas oferecidas pela concessionária (R\$43-45/MWh, em média).

2. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE PAPEL E CELULOSE

O segmento de papel e celulose produziu 6,3 milhões de toneladas de celulose e 6,5 milhões de toneladas de papel em 1997, com programação de expansão de mais 2,25 milhões de toneladas de celulose até 2002 (BRACELPA, 1998). É um dos segmentos industriais com maior consumo de energia, tendo comprado em 1997 mais de 10000 GWh de eletricidade, 8% do consumo no setor industrial (BEN, 1998).

A auto-produção no setor de papel e celulose é ainda reduzida: apenas 26,7% das indústrias possuem geração própria, correspondendo a 47% da energia total consumida (média brasileira e dependente do tipo de indústria). A maioria das empresas de papel não têm geração própria: apenas 15 (15,15%) em um total de 99 empresas no Brasil possuem geração própria, das quais 13 com hidreletricidade e 2 com geração térmica. O contrário é observado nas indústrias integradas, onde de 26 empresas, 17 (65,38%) possuem geração própria (11 com geração térmica, 1 com hidreletricidade e 5 com hidreletricidade e térmica). Nas de celulose, de um total de 6 empresas, 3 possuem geração térmica e 1 possui geração térmica e hidroelétrica (BRACELPA, 1996).

Nas indústrias de celulose e nas integradas, é consumida toda a lixívia produzida (subproduto inevitável do processo Kraft, ou sulfato, de fabricação de celulose, que é queimado na caldeira de recuperação, gerando o vapor, com PCI médio de 13.000 kJ/kg), e que reduz substancialmente o consumo de outros combustíveis derivados do petróleo (Larson, 1990, Bonomi, 1985). Mesmo assim, ocorre significativo consumo de óleo combustível, em particular nos fornos de cal, tendo inclusive ocorrido aumento significativo no consumo de óleo combustível (24% de 1996 para 1997, BRACELPA, 1998) devido ao preço reduzido deste combustível. Pelo fato de possuírem a matéria-prima (madeira), estas indústrias consomem também a biomassa disponível após o processamento da madeira (cavacos, cascas e resíduos florestais em geral, além da lenha).

Nas indústrias de papel e celulose, a quantidade de energia elétrica gerada (a auto-suficiência) é definida pela necessidade de vapor de processo. Nas planilhas de cálculo foi analisada a situação de cada indústria. Por exemplo, uma indústria que produz 577 mil t/ano de papel, gera 580 t/h de vapor e consome, em média, 350 t/h de vapor de processo.

Segundo a Eletrobrás (GCPS, 1999), o potencial técnico de geração de eletricidade (parcela do potencial termodinâmico - teórico - passível de ser aproveitado) nestas indústrias deve atingir 1740 MW instalados até 2003, o que corresponde a um considerável aumento (se ocorrer) com relação à atual potência instalada de 718 MW. Este potencial seria obtido através da utilização de resíduos, com a complementação de gás natural.

Nas indústrias de papel, o consumo se concentra principalmente na lenha e no óleo combustível, pela não disponibilidade de combustível produzido na própria empresa. A geração de energia deve ser efetuada, portanto, com a compra destes combustíveis e em alguns casos a partir de gás natural da Bacia de Campos. Assim, a cogeração não é viável economicamente, pois o custo de geração não é competitivo com as baixas tarifas cobradas pelas concessionárias de energia elétrica (Coelho et al., 1995, Coelho et al., 1993). É por isso que a parcela de eletricidade auto-gerada nestas indústrias é ainda reduzida. Era esperado que, com o gás da Bolívia, ocorresse um deslocamento no tipo de combustível consumido, substituindo principalmente o óleo combustível. Porém, a partir de Janeiro de 1999, em vista da elevação dos preços do gás natural (cotado em dólares), em consequência da elevação da

taxa de câmbio, há sinalização da inviabilidade da geração termelétrica a partir desse combustível.

Do ponto de vista técnico, de fato o setor tem possibilidades de se tornar auto-suficiente em termos energéticos, produzindo todo o vapor e eletricidade necessários ao processo mas as barreiras econômicas são significativas, como analisado a seguir.

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi efetuado a partir do levantamento de dados de um grupo de empresas selecionadas, com dados recentes (1998), incluindo a produção de papel e celulose e o perfil energético, com a porcentagem de energia auto-gerada. Em seguida foi analisada a otimização do processo de geração de vapor, de cada empresa, para que cada uma delas se torne auto-suficiente, verificando o potencial adicional que poderá ser gerado.

Neste estudo foram consideradas apenas as tecnologias comercialmente disponíveis no país, apesar do enorme potencial de cogeração (teórico) que poderia ser obtido com tecnologias ainda em desenvolvimento, como a gaseificação de biomassa e de lixo (Larson, 1990, Coelho et al, 1996).

3.1. Análise técnica da cogeração

O grupo de empresas (integradas) considerado apresenta uma produção de 312.222 t/mês de celulose e 197.663 t/mês de papel. Em média, a energia elétrica produzida por cogeração (315 MW) corresponde a 55 % do consumo do grupo (352.000 MWh/mês).

Para a otimização do processo foram consideradas duas configurações:

Configuração 1: Esta opção visa atingir apenas a auto-suficiência térmica (vapor de processo), utilizando entretanto equipamentos mais eficientes que os atuais. Nesta configuração, que corresponde aproximadamente à situação atual (à exceção das pressões de trabalho, do rendimento das caldeiras, estimado em 80%, e do rendimento isoentrópico das turbinas, estimado em 70%), a geração de eletricidade é determinada pelo vapor disponível, que expande na turbina (de contra-pressão) até a pressão de 12 bar e até 4 bar.

O sistema inclui caldeiras de alta pressão (60 bar e 470°C), queimando toda a biomassa (cascas, cavacos, etc) disponível, além das próprias caldeiras de lixo. No caso em que o vapor gerado não é suficiente, uma caldeira adicional (a lenha, por motivos ambientais) é prevista para substituir as caldeiras existentes que (na maior parte dos casos) usam combustíveis fósseis (óleo, carvão). Em todos os casos são adotadas eficiências mais elevadas para os equipamentos, quando comparadas com a situação atual. O vapor gerado é então alimentado numa turbina de extração/contra-pressão.

Configuração 2: Esta opção objetiva a auto-suficiência térmica e elétrica de cada indústria, através da instalação de uma turbina a gás queimando gás natural com caldeira de recuperação, gerando vapor para alimentar a turbina a vapor (condensação/extração), sendo mantidas as caldeiras de biomassa e de recuperação (lixo).

3.2. Análise econômica

Em seguida à análise técnica, foi efetuada uma análise econômica (preliminar), cujos resultados estão apresentados a seguir. Nesta análise foi considerada apenas a segunda configuração (ciclo combinado com turbina a gás), pelo fato de que a primeira configuração não permite atingir a auto-suficiência.

A análise econômica foi efetuada pelo método convencional, atribuindo todos os custos à eletricidade e considerando, portanto, que o custo do vapor de processo é nulo. Estão em desenvolvimento outros estudos para a análise termoeconômica em base exergética, a qual permite uma análise mais rigorosa dos custos da eletricidade e do vapor de processo, através dos métodos de partição (Bejan et al., 1996), como já efetuado para o setor de açúcar e álcool (Coelho, 1999).

Para a realização da análise econômica, foram adotadas diferentes condições financeiras, efetuando-se uma análise de sensibilidade para diversos preços do gás natural. Foram calculados os custos de capital, adotando-se valores médios para o investimento (US\$1.350/kW instalado), de combustível e de O&M (adotado US\$ 3/MWh, como valor histórico).

4. RESULTADOS

A partir da metodologia acima, aplicada para o grupo de indústrias selecionadas, obteve-se os seguintes resultados.

4.1. Potencial de cogeração

Conforme tabela 1, os resultados obtidos para a configuração 1 indicam ainda déficits de eletricidade para algumas indústrias. Para o grupo, há um déficit de 75.254 MWh/mês, apesar de inferior ao déficit atual, que é de 183.187 MWh/mês. Neste caso o consumo adicional de biomassa (lenha) seria de cerca de 3.000 t/d, correspondendo a um total consumido igual ao dobro da biomassa já em uso.

Já na configuração 2, além da auto-suficiência energética, verifica-se a geração de algum excedente de eletricidade (73.051 MWh/mês), apesar de não ser prevista a venda de excedentes na análise econômica. Nesta opção, o consumo de gás natural seria de 1.800.000 Nm³/d.

Tabela 1. Potencial de cogeração para o grupo de empresas selecionado (MWh/mês)

	Energia Gerada (MWh/mês)	Excedente/Déficit (MWh/mês)	Consumo Adicional de Combustível
Situação Atual	168.873	- 183.127	Vários
Configuração 1 CEST	276.940	- 75254	3.000 t/d (biomassa)
Configuração 2 T.G.	425.246	+ 73.051	1.800.000 Nm ³ /d (gás natural)

Fontes: Cálculo dos autores

4.2. Custos de geração

A tabela 2, a seguir, indica os custos de geração para diferentes condições financeiras e diversos preços para o gás natural.

Tabela 2. Custos de geração de eletricidade nas indústrias integradas de papel e celulose em ciclo combinado com gás natural (US\$/MWh)

Condições financeiras	Preço do gás natural (US\$/MMBTU)		
	4.40	3.60	3.05
10%, 25anos	48.80	44.33	41.25
15%, 20 anos	58.35	53.87	50.80
20%, 15 anos	68.77	64.29	61.22

Fonte: Cálculo dos autores.

Como pode ser observado nos resultados acima, nem mesmo com condições financeiras dificilmente aceitas pelo setor privado e com os menores valores adotados para o gás natural, os custos de geração não se mostram competitivos com as tarifas elétricas ofertadas pelas concessionárias (R\$ 43-47/MWh), principalmente nos níveis atuais de taxa de câmbio (R\$1,70/US\$ em março de 1999).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que, mantida a atual política de preços das concessionárias de energia elétrica (tarifas reduzidas para os grandes consumidores de energia), a cogeração (e muito menos a auto-suficiência) com tecnologias mais eficientes não se viabilizará, apesar dos benefícios estratégicos para todos os setores envolvidos e das vantagens ambientais para a sociedade (Coelho e Zylbersztajn, 1998). Apesar das dificuldades para garantir a oferta de energia, não se verifica ainda por parte do setor elétrico uma política específica visando a implementação da cogeração de energia.

Do ponto de vista do setor industrial envolvido, a única possibilidade de incentivo à auto-suficiência está no risco de interrupções no fornecimento, como já tem ocorrido, uma vez que os custos envolvidos nestas situações (interrupção na produção, perda de qualidade no produto, etc) são de fato muito superiores do que os custos da auto-produção de eletricidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos alunos de graduação dos cursos de Engenharia Química e Mecânica da FAAP a valiosa contribuição no levantamento dos dados junto às empresas do setor.

REFERÊNCIAS

- BEN. Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia, Brasília. Vários anos.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996, Thermal design and optimization. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bonomi, A. (Coordenador), 1985, Conservação de Energia na Indústria de Celulose e Papel. Manual de Recomendações. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. São Paulo.
- BRACELPA – Associação Brasileira dos Fabricantes de Celulose e Papel, vários anos. Estatísticas. São Paulo.
- Coelho, S.T. , 1999, Barreiras e Mecanismos para Implementação de um Programa em Larga Escala de Cogeração a Partir de Biomassa. Uma Proposta para o Estado de São Paulo. (Tese de Doutorado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo.

- Coelho, S.T., Zylbersztajn, D., 1998, Barreiras e Mecanismos de Implementação à Cogeração de Eletricidade a partir de Biomassa. (cd-rom). In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Anais. São Paulo.
- Coelho, S. T., Oliveira Jr., S., Zylbersztajn, D. Análise Termoeconômica da Cogeração de Eletricidade a partir do Bagaço de Cana em uma Usina de São Paulo, 1997. In: XIV COBEM - Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Anais (cd-rom). Bauru.
- Coelho, S.T., Velázquez, S.G., Zylbersztajn, D., 1996, Cogeneration in Brazilian Pulp and Paper Industry from Biomass Origin to Reduce CO₂ Emissions. In: DEVELOPMENTS IN THERMOCHEMICAL BIOMASS CONVERSION. Anais. Banff, Canada. Vol. III, pp 1073-1085.
- Coelho, S.T., Ieno, G. O., Zylbersztajn, D., 1995, Aspectos Técnicos e Econômicos da Inserção da Cogeração de Eletricidade na Matriz Energética Brasileira. In: II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Anais. Campinas, Dezembro de 1994, pp 438-443. Republicado em Eletricidade Moderna, São Paulo, ano XXIII, n.255, pg. 70 a 75.
- Coelho, S.T., Ieno, G.O., 1993, Cogeração de Eletricidade nas Indústrias de Papel e Celulose. (mimeografado). Estudo realizado sob contrato com União Européia. IEE/USP. São Paulo.
- Cury, L.A.B. et al., 1997, O Desenvolvimento e as Perspectivas da Cogeração no Estado de São Paulo. In: XIV SNPTEE. Anais. Belém.
- Eletrobrás. Plano Decenal de Expansão. Brasília, vários anos.
- Fonseca, M.A.S., 1992, Consumo Energético na Indústria de Papel e Celulose. In: SEMINÁRIO CEE/BRASIL - SETORES INDUSTRIAIS EM ENERGIA. Anais. São Paulo.
- GCPS (Eletrobrás), 1999, “Estimativa do Potencial de Cogeração no Brasil”. Diretoria de Planejamento e Engenharia, Rio de Janeiro.
- Gasparim, M., Pesch, L.R., Breda, M.S., 1997, Experiência de Implantação e Operação da “BFB” em Monte Alegre. 30º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. Anais. São Paulo.
- Larson, E.D., 1990, Biomass-Fasifier/Gas-Turbine Applications in the Pulp and Paper Industry; an Initial Strategy for Reducing Electric Utility CO₂ Emissions. In: Biomass for Utility Applications. Anais. Tampa.
- Mendes, A.C.T., 1996, Estudo dos Usos de Gás Natural no Estado de São Paulo, Considerando-se a Implantação do Gasoduto Brasil-Bolívia. (Dissertação de Mestrado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Scheleder, E.M.M., 1997, A Cogeração e Sistema Elétrico Brasileiro. Seminário “Oportunidades para Cogeração na Indústria Química”. Organizado pela Associação Brasileira de Engenharia Química (ABEQ). São Paulo.
- Villanueva, L.Z.D., Coelho, S.T., 1998, La Cogeneration de Eletricidad en las Fabricas de Papel como Opción para la Reducción del Impacto Ambiental. In: III CONGRESSO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Anais (CD-ROM). São Paulo.
- Walter, A.C.S., 1997, Incentivos Econômicos e Ambientais para a Difusão de Tecnologias Avançadas de Conversão de Biomassa. Relatório Semestral apresentado à FAPESP (Pós-doutorado), National Renewable Energy Laboratory, Colorado.
- Williams, R.H., Larson, E.D., 1992, Advanced Gasification-Based Biomass Power Generation and Cogeneration. In: Renewables for Fuels and Electricity. Island Press.

COGENERATION OF ELECTRICITY IN THE SECTOR OF PAPER AND CELLULOSE: TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION

Abstract. *Brazilian pulp and paper industry is among the highest electricity consumers in the country, with a consumption of 10,000GWh (1997), corresponding to 8% of the consumption in the industrial sector. However, despite the high amount of by-products from the pulp process, its energy self-production is still quite reduced. On the other hand, fossil fuel consumption is presenting a significant growth, while renewable fuel's consumption is decreasing with a consequent rise on the emission of pollutant gases. Therefore, this paper analyses a group of Brazilian (integrated) pulp/paper industries, whose production corresponds to around 47% of global production in the country, aiming the introduction of more efficient technologies with lower environmental impacts. Firstly, the current situation of each selected industry was analyzed from the technical assessment developed; then the cogeneration potential was evaluated with the introduction of more efficient technologies. Fuels adopted were mainly biomass and/or natural gas, corresponding to lower pollutant emissions. Results show that, despite the potential of electricity generated and the environmental benefits, there are still economic difficulties. Generation costs are not competitive with electricity tariffs offered by the utilities (R\$ 43-45/MWh); so further mechanisms are necessary to implement cogeneration in this sector.*

Key-words: *electricity, thermoelectric generation, cogeneration, biomass, natural gas*