

# Possibilidades e perspectivas do uso de co-geração de energia no setor de papel e celulose no Brasil

Marcelo Carlos Barbeli

Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos - UNICAMP

Coordenador e professor do curso de Engenharia de Produção Mecânica do Centro Universitário Anhanguera - Unidade Pirassununga

e-mail: marcelo.barbeli@unianhanguera.edu.br

## Resumo

Este artigo aborda o planejamento energético da indústria brasileira de papel e celulose.

A produção de papel e celulose no Brasil é uma atividade industrial complexa, verticalizada, altamente globalizada e intensiva em capital e recursos naturais, sendo importante na economia brasileira tanto em termos de mercado interno como de exportações.

Tais atributos, somados às conseqüências desta atividade produtiva do ponto de vista energético e ambiental, motivaram o presente estudo.

O estudo inclui uma análise das possibilidades de inserção de novas tecnologias de consumo e produção de energia, principalmente as que envolvem co-geração de energia. São abordadas, da mesma forma, as perspectivas de uma maior utilização de sistemas de co-geração e as dificuldades e falta de políticas para uma maior inserção.

Com base nessas duas análises, elaboram-se as considerações finais do trabalho e propõe-se algumas novas idéias para políticas energéticas e ambientais no País, para este segmento industrial.

**Palavras-chave:** Energia, papel, celulose, planejamento

## Considerações gerais

A produção de papel e celulose envolve processos cuja demanda de vapor e energia elétrica são muito altas. Os sistemas de co-geração de energia são capazes de suprir tais demandas. O termo co-geração de energia, basicamente, tem como significado a produção

## Abstract

The planning of the pulp and paper industry in terms of energy consumption and supply is the subject of this work.

The production of pulp and paper in Brazil is a complex, vertically-integrated, global and capital and natural-resources-intensive industrial activity. It is important in the national economy in terms of both internal market and exports.

Such attributes, added to the energy consumption and environmental consequences of this productive activity, motivated this study.

This paper can be divided into two main parts. In the first one, a detailed retrospective analysis of the Brazilian pulp and paper industry is carried out, assessing the evolution of energy consumption and production, and the factors which affected both, in the last ten years.

A prospective analysis makes up the second part. Employing a range of alternative development scenarios, the possible behaviours, in the next ten years, of the pulp and paper production and exports and the consumption and production of energy and electricity in this industrial branch are evaluated, in the latter case including the simulation of new technologies.

Based upon these two analyses, final remarks are made and some proposals are put forward about new energy and environmental policies for this industry.

**Key-words:** Energy, paper, pulp, planning.

simultânea e seqüencial de duas formas de energia, através de um único insumo energético.

A co-geração é um tipo de geração distribuída de energia elétrica. Por conseguinte, ela pode propiciar economias nos investimentos do setor elétrico em redes de transmissão e distribuição, além de reduções nas perdas destas redes. Além disso, a co-geração também

pode proporcionar reduções nas emissões de poluentes para a atmosfera, comparando-se com as produções separadas das mesmas quantidades de energia térmica e elétrica.

Enquanto sistemas compostos por turbinas a vapor de contrapressão e de extração/condensação produzem quantidades relativamente modestas de energia elétrica, tecnologias modernas com turbinas a gás podem acentuar a competitividade de uma planta através de um aumento na geração de energia elétrica e vapor, proporcionando, inclusive, volumes adicionais de energia elétrica que podem ser vendidas como excedentes a concessionárias de eletricidade locais, com contratos de médio ou longo prazo, ou negociados no mercado spot.

São discutidos, inicialmente, os sistemas tradicionais de co-geração de energia que operam em plantas de papel e celulose e seus respectivos potenciais para geração de energia elétrica. Em seguida é a vez das novas tecnologias empregando turbina a gás e seus potenciais de incremento na produção de energia elétrica e vapor de processo serem analisadas.

Apresentam-se, então, possíveis melhorias com o objetivo de otimização da produção de energia elétrica e aumento da eficiência das plantas de co-geração que empregam turbinas a gás, sem haver necessidade de grandes avanços tecnológicos.

A parte final deste trabalho se propõe a discutir sobre a co-geração no novo arcabouço institucional do setor elétrico brasileiro, os potenciais de co-geração na indústria, de uma forma geral, e no setor de papel e celulose em particular, e as principais barreiras que têm sido encontradas para uma maior utilização de co-geração no País.

### **Tecnologias e arranjos tradicionais**

Os sistemas de co-geração produzem energia térmica e eletricidade empregando um único insumo energético. Este último, utilizado em um processo de combustão em adequados sistemas de conversão como turbinas a gás ou turbinas a vapor, produz trabalho mecânico e calor para a planta. O trabalho obtido em um sistema de co-geração pode ser utilizado em um alternador para a produção de eletricidade ou pode ser empregado diretamente como força motriz de equipamentos, enquanto que o calor produzido é utilizado no processo produtivo para atividades de aquecimento, geração de vapor, secagem e outras aplicações.

Os sistemas de co-geração de energia podem ser enquadrados em duas configurações básicas conforme as turbinas que empregam, ou seja, sistemas com turbinas

a vapor e sistemas com turbinas a gás.

No primeiro destes sistemas, o vapor produzido em geral é de alta pressão e é utilizado pelas turbinas a vapor. Estas podem ser turbinas de contrapressão, ou turbinas de extração-condensação. Tanto um tipo de turbina quanto o outro produzem energia elétrica e, ao mesmo tempo, enviam vapor ao processo. Estes sistemas são largamente utilizados na indústria de papel e celulose. Já os sistemas compostos por turbinas a gás não possuem uma tradição de utilização no setor de papel e celulose e por se tratar de tecnologias que ainda estão passando por um processo de amadurecimento, são discutidos na seção deste capítulo que trata de novas tecnologias de co-geração para o setor.

A produção de duas correntes de energia a partir de um mesmo insumo energético gera uma diferença na quantificação econômica dessas correntes, na qual, geralmente, a energia elétrica assume valores mais altos. Na América do Norte, os governos e suas agências reguladoras incentivam uma elevada eficiência para as unidades de co-geração.

No Canadá é possível se acelerar a depreciação de parte do capital investido para um sistema de co-geração cuja eficiência inicial seja de 6.330 kJ/kWh (ou 56,9% de eficiência termodinâmica) para conversão de combustíveis fósseis em energia elétrica (Bruce e Wilson, 1999).

No Brasil, a resolução nº 21 da ANEEL, de 20 de janeiro de 2000, estabelece os requisitos necessários à qualificação de centrais co-geradoras de energia.

Os sistemas de co-geração que utilizam turbinas a vapor de contrapressão possuem uma eficiência térmica global elevada, mas só produzem aproximadamente de 75 a 100 kW de energia elétrica por tonelada/hora de fluxo de vapor, o que corresponde à conversão de cerca de 10 a 25% do calor do vapor em energia elétrica. A eficiência global elevada ocorre por conta do calor na exaustão da turbina, que pode ser aproveitado no processo. A figura 1 mostra essa configuração.

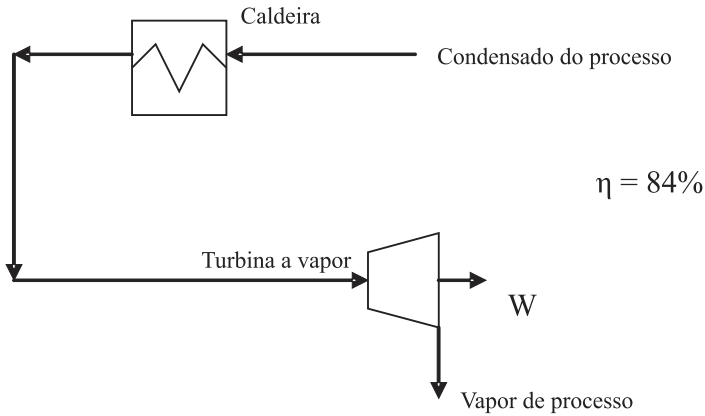
## Novas tecnologias

Atualmente existem tecnologias mais avançadas para co-geração de energia e que utilizam turbinas a gás. Quando a prioridade é a obtenção de energia elétrica, os ciclos que utilizam turbinas a gás são os preferidos.

Nestes sistemas, ainda pouco comuns nas plantas de papel e celulose instaladas no País, as turbinas a gás geram energia elétrica e o calor obtido em sua exaustão é aproveitado para a geração de vapor para o processo. Parte deste vapor também pode ser aproveitado para movimentar turbinas a vapor, nos chamados ciclos combinados. O combustível ideal para operação com estes sistemas é o gás natural, devido à alta quantidade de hidrogênio em suas moléculas, que acarreta uma menor formação de  $\text{CO}_2$ , se comparado ao óleo combustível e ao carvão, e volumes de  $\text{SO}_2$  e particulados pouco expressivos.

Os sistemas de co-geração com turbinas a gás são tipicamente utilizados em condições que requerem de 200 a 2000 kW de energia elétrica e a energia térmica para produção de água quente (Bruce e Wilson, 1999).

Uma das configurações mais simples é o sistema que utiliza uma turbina a vapor, cujo vapor de alimentação é aquecido com o calor residual obtido nos gases de exaustão de uma turbina a gás. Com este sistema, conhecido como HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), é possível gerar de 450 a 1000 kW de energia elétrica por tonelada de vapor (Bruce e Wilson, 1999). A figura 3 mostra este ciclo simples de co-geração com turbina a gás e recuperação de calor residual.

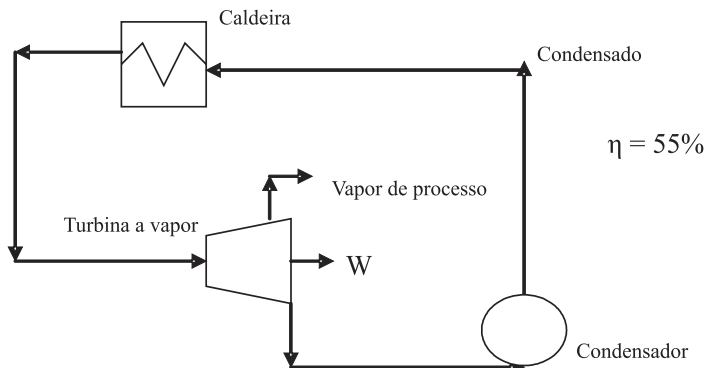


Fonte: Bruce e Wilson, 1999

**Figura 1** - Sistema tradicional de co-geração com caldeira de alta pressão e turbina a vapor de contrapressão

Se for necessária a obtenção de mais energia elétrica, uma quantidade extra de vapor (além das necessidades do processo) deve ser gerada. Tal sistema utiliza uma turbina de extração/condensação e proporciona uma geração de 200 a 450 kW de energia elétrica por tonelada/hora de fluxo de vapor. A eficiência global deste sistema, no entanto, é inferior à do sistema com turbinas de contrapressão.

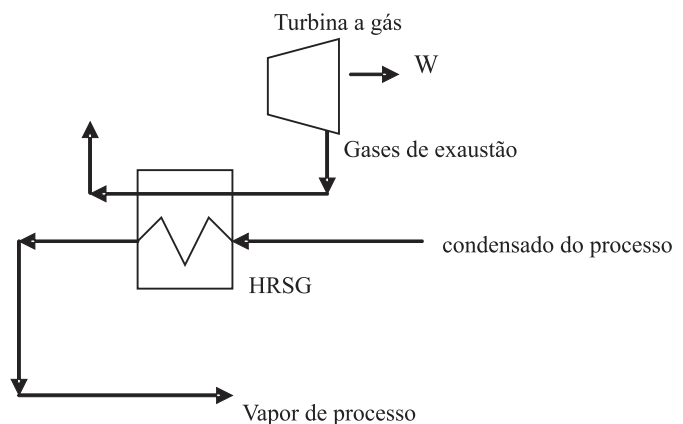
A figura 2 ilustra uma configuração tradicional de um sistema de co-geração com caldeira de alta pressão e turbina a vapor de extração/condensação.



Fonte: Bruce e Wilson, 1999

**Figura 2** - Sistema tradicional de co-geração com caldeira de alta pressão e turbina a vapor de extração/condensação

No Brasil, como a venda de excedentes de energia elétrica ainda não é uma tradição, principalmente no setor de papel e celulose, e, neste, as tarifas que são pagas pela eletricidade adquirida das concessionárias, complementar à autoproduzida, são consideradas relativamente baixas pelos empresários, a maioria das plantas do setor ainda opera com sistemas envolvendo turbinas de contrapressão. As pesquisas para melhoria de rendimento de turbinas a vapor têm estado estagnadas, uma vez que o limite de seu desenvolvimento aparentemente já foi alcançado.

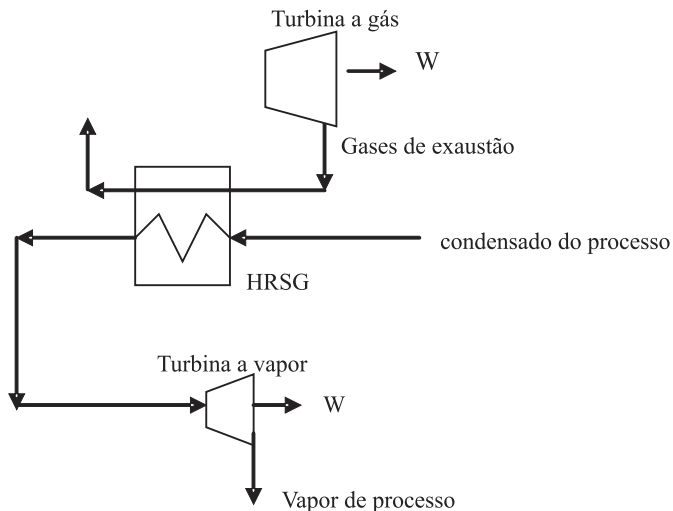


Fonte: Bruce e Wilson, 1999

**Figura 3** - Sistema de co-geração com turbina a gás e recuperação de calor residual

Caso o ciclo HRSG seja dimensionado para operar a uma pressão mais alta que a requerida pelo processo, uma quantidade adicional de energia elétrica

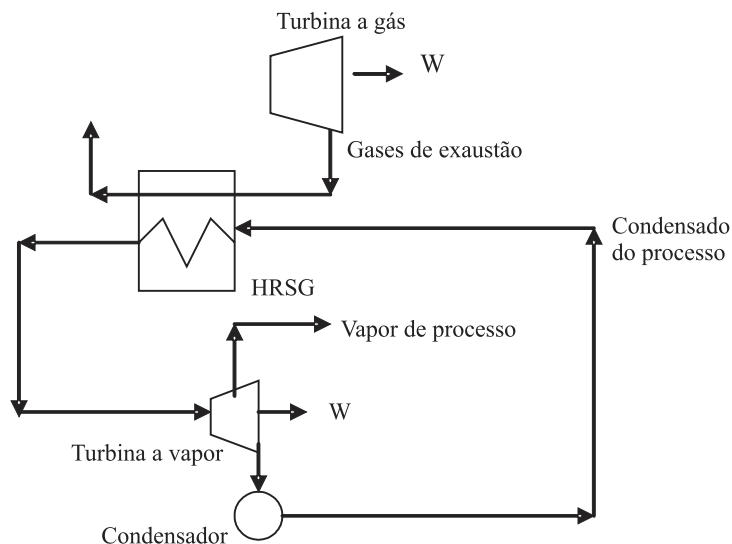
poderá ser gerada através da expansão do vapor em uma turbina de contrapressão, antes que este vapor seja enviado ao processo. Tal configuração é conhecida como sistema de ciclo combinado. A figura 4 mostra um esquema de ciclo combinado com turbinas de contrapressão.



Fonte: Bruce e Wilson, 1999

**Figura 4** - Sistema de co-geração em ciclo combinado com turbinas de contrapressão

Uma última configuração pode ser conseguida, com o intuito de maximizar a geração de energia elétrica. Trata-se de um ciclo combinado com turbinas a vapor de extração/condensação, ilustrada na figura 5.



Fonte: Bruce e Wilson, 1999

**Figura 5** - Sistema de co-geração em ciclo combinado com turbinas de extração/condensação

## Melhorias possíveis nos sistemas de co-geração compostos por turbinas a gás sem grandes avanços tecnológicos

Os sistemas de co-geração compostos por turbinas a gás podem ser melhorados ou otimizados sem grandes alterações tecnológicas, através de algumas medidas relativamente simples. Estas envolvem o aumento de temperatura dos gases na entrada da turbina, injeção de água ou vapor, redução da temperatura do ar na entrada do compressor, dentre outras.

### Aumento da temperatura dos gases na entrada da turbina

Esta medida tem dado resultado em razão do desenvolvimento metalúrgico dos materiais com os quais as turbinas têm sido construídas e de técnicas de resfriamento das pás freqüentemente baseadas no encaminhamento do fluxo de vapor através de passagens internas complexas. Com esta medida, aumenta-se a eficiência das turbinas a gás. É possível que a próxima geração destas turbinas suporte temperaturas acima de 1500°C (PILAVACHI, 2000).

### Injeção de água ou vapor

A injeção de água ou vapor nos combustores de turbinas a gás é uma prática que promove um incremento em sua potência, resultando nos chamados ciclos Cheng e STIG, respectivamente.

No caso do ciclo Cheng há um incremento de 20% na geração de energia. A injeção de vapor melhora a eficiência térmica e reduz as emissões de NOx (PILAVACHI, 2000). A injeção de água deve obedecer a alguns critérios, uma vez que deve estar livre de impurezas, sob risco de causar corrosão na turbina.

### Redução da temperatura do ar ambiente na entrada do compressor

A performance das turbinas a gás é adversamente afetada pela alta temperatura ambiente. Várias medidas para reduzir a temperatura na entrada da turbina estão sendo estudadas, tais como sistemas de refrigeração por absorção e resfriadores ejetores. Testes com um resfriador ejetor em uma dada turbina mostraram que é possível se diminuir a temperatura na entrada do compressor em cerca de 18,6 °C, o que proporcionou uma elevação de

potência de 21,6 MW para 24,2 MW (PILAVACHI, 2000).

### **Ciclos de turbinas a gás com oxidação parcial**

Neste sistema o compressor da turbina a gás é usado para gerar correntes pressurizadas de altas temperaturas contendo oxigênio. O gás oxidante é misturado com combustível e um pouco de vapor e reagem em um reator de oxidação parcial em presença de um catalisador sólido. O resultado é a exaustão de um gás de alta temperatura e rico em CO e H<sub>2</sub>. A relação ar/combustível é ajustada para o limite da temperatura dos produtos de combustão, que são expandidos na turbina produzindo potência de eixo. Os gases de exaustão são utilizados como combustível em um gerador de vapor convencional.

Este sistema pode apresentar eficiências de geração de eletricidade bastante elevadas (PILAVACHI, 2000).

### **Perspectivas de incremento do uso de co-geração na indústria de papel e celulose brasileira**

A indústria de papel e celulose apresenta condições bastante favoráveis para incrementar o uso de tecnologias de co-geração, devido às especificidades de seu processo de produção, emprego da biomassa como fonte de energia e produção de lixívia, também utilizada como combustível.

A gradual inserção do gás natural neste segmento industrial também propicia um campo vasto para aplicação de sistemas de co-geração, sobretudo se esta inserção for acelerada através de uma política de preços para o gás mais favorável do que a atual.

A indústria de papel e celulose brasileira ainda utiliza sistemas de co-geração com caldeiras de alta pressão e turbinas a vapor de contrapressão, que possuem uma taxa relativamente baixa de produção de eletricidade. A inserção de tecnologias mais eficientes e com taxas de produção de eletricidade maiores só deverá ocorrer em um cenário onde os equipamentos associados às atuais tecnologias estejam em fim de vida útil, os atuais subsídios cruzados “embutidos” nas tarifas de eletricidade das empresas eletrointensivas do setor deixem de existir (segundo o decreto nº 4.667, de 04/04/2003), o gás natural para co-geração se torne mais barato, e a eventual produção de energia elétrica excedente nas plantas de papel e celulose brasileiras se mostre vantajosa. Por outro lado, a implantação de novas unidades industriais no País pode abrir caminho para a

utilização de tecnologias mais eficientes de co-geração no setor.

### **A co-geração e o novo arcabouço institucional do setor elétrico brasileiro**

O setor elétrico brasileiro está passando por uma fase de transição entre uma estrutura completamente monopolista, dirigida pelo Estado, para uma estrutura baseada na busca da competição possível nas atividades de geração e comercialização. Este processo se iniciou com a venda de concessionárias estatais do segmento de distribuição de energia. Em uma segunda etapa, as geradoras de energia também deveriam ser privatizadas, mas isto só ocorreu em uma pequena escala, por dificuldades políticas, ainda na administração federal anterior. Mais de 70% da capacidade de geração continua nas mãos do Estado (governos estaduais e federal). O novo governo não pretende continuar estas privatizações.

Todo o processo de transição gera incertezas quanto ao futuro. O novo governo pretende modificar algumas “regras do jogo”, destacando-se a criação de um “pool”, que atuaria como “comprador único” da nova geração necessária para atender o crescimento da carga dos “consumidores cativos”. Continuariam existindo os consumidores livres, que poderiam firmar contratos bilaterais com produtores independentes de energia (PIEs) e comercializadores. O novo governo não pretende mudar o livre acesso às linhas de transmissão e distribuição, já devidamente implantada, e a desverticalização das atividades do setor elétrico - geração, transmissão, distribuição e comercialização - continua sendo uma meta, com algumas exceções previstas. O Mercado Atacadista de Energia (MAE) deve ser substituído por um Agente Comercializador de Energia Elétrica (ACEE), que administrará todos os contratos, essencialmente bilaterais, entre todos os agentes do setor elétrico brasileiro.

Conforme mencionado acima, continuariam existindo consumidores livres, que poderiam adquirir, através de contratos bilaterais, livremente negociados, eventuais energias excedentes de unidades de co-geração. Além disso, haveria dois outros tipos de oportunidades para a venda de tais excedentes. As propostas do novo governo prevêm a possibilidade de contestação dos projetos de geração a serem licitados no “pool”, ou seja, a existência de excedentes de co-geradores a custos competitivos pode ser absorvida pelo “pool” e postergar tais licitações. Uma segunda oportunidade se abre para a venda, a preços subsidiados,

de excedentes de energia elétrica de plantas de co-geração que utilizam produtos da biomassa como combustível, através do programa de fomento à fontes renováveis, o Proinfa, instituído pela lei nº 10.438, de 26/04/2002.

### Potenciais de co-geração

Existem quatro tipos de potenciais de co-geração: o termodinâmico, o técnico, o econômico e o de mercado. O termodinâmico é estimado com base na demanda interna de calor da planta, sem considerar suas possibilidades tecnológicas e econômicas. O potencial técnico corresponde à porção do potencial termodinâmico que poderia ser implementado com equipamentos e tecnologias disponíveis no mercado. O potencial econômico, por seu turno, é a porção do potencial técnico que satisfaz critérios de atratividade econômica, como, por exemplo, uma taxa interna de retorno mínima aceitável. Por último, o potencial de mercado considera as reais intenções dos potenciais empreendedores e a sustentação financeira dos projetos; evidentemente, trata-se de uma fração do potencial econômico.

Em alguns países, como, por exemplo, os EUA, Inglaterra e Holanda, os potenciais de mercado têm se materializado graças a parcerias entre empreendedores industriais e comerciais e fornecedores de energia elétrica e/ou gás canalizado, que enxergam unidades modernas e eficientes de co-geração a gás como novas oportunidades de negócios. No Brasil, nos últimos anos, tem havido algumas poucas iniciativas neste sentido. Estas iniciativas tem sido, no entanto, desestimuladas pelos altos preços do gás neste período e pelas fortes incertezas sobre as mudanças que ainda irão ocorrer nas regras de funcionamento do setor elétrico brasileiro.

Embora o potencial técnico da co-geração no setor industrial brasileiro tenha sido estimado em aproximadamente 12,5 GW em 1998, a capacidade instalada de co-geração neste setor não excedia 2 GW no ano 2000. (SZKLO e TOLMASQUIM, 2001)

Esta discrepância pode ser explicada por quatro razões principais:

(i) A maciça tendência à geração hidroelétrica moldou um sistema centralizado de geração hidroelétrica e termoelétrica, cujas plantas térmicas operam com o objetivo de suplementação do sistema principal e de forma intermitente. Historicamente, devido ao baixo custo da hidroeletricidade no Brasil, a co-geração tem sido relegada a um plano menos importante, sendo adotada quase que exclusivamente em alguns poucos

segmentos industriais específicos, que utilizam, como combustíveis, resíduos de seu processo produtivo;

(ii) O setor energético brasileiro se ressentia da falta de políticas específicas para projetos de co-geração. Isso leva a riscos excessivos e cria barreiras à implementação de projetos;

(iii) Os baixos preços da eletricidade praticados em alguns segmentos industriais no Brasil, devido a subsídios cruzados, desencorajam investimentos em co-geração. Estes baixos preços resultam em uma baixa remuneração do capital nos potenciais projetos de co-geração;

(iv) Preços elevados do gás natural no Brasil.

Tratando agora especificamente do setor industrial abordado neste trabalho, a indústria de papel e celulose, a demanda de vapor de processo é suprida principalmente com a queima de óleo combustível, lenha e cavacos de madeira e resíduos, que juntos respondem por mais de 50% desta demanda. Este tipo de indústria possui, como característica específica, a produção de um resíduo proveniente do processamento do eucalipto - o licor negro ou lixívia, que possui características combustíveis.

Normalmente, em uma planta integrada de papel e celulose, todo o licor negro produzido é usado na geração de energia e calor, através de sistemas de co-geração baseados em turbinas a vapor e caldeiras. Caso haja uma demanda de calor não atendida, uma outra fonte de energia, como o gás natural, é utilizada através da queima direta. Analogamente se houver uma demanda por eletricidade não atendida, a planta recorre à concessionária de energia elétrica local.

Nos Estados Unidos, identificou-se um potencial de co-geração com gás natural de aproximadamente 17,8 GW na indústria de papel e celulose (SZKLO e TOLMASQUIM, 2001).

Em 1998 o potencial termodinâmico total para co-geração no setor de papel e celulose brasileiro foi identificado como sendo da ordem de 7,83 GW (SZKLO e TOLMASQUIM, 2001).

“O setor de papel e celulose brasileiro gera energia elétrica para consumo próprio, usando a lixívia, cavacos e cascas de madeira. Em 1999 a capacidade instalada era de 718 MW, cobrindo 50% das necessidades de energia elétrica. Seria possível complementar esta autoprodução com madeira, em plantas de co-geração, atingindo 79% das necessidades (450 MW adicionais)” (MACEDO, 2001). Outro trabalho nesta mesma linha (VÉLAZQUÉZ, et alii, 1999) constatou os mesmos 718 MW de capacidade instalada e estimou um aumento de capacidade instalada para 1740 MW em 2003, através

da utilização de resíduos e complementação com gás natural. Isto não se verificou na prática, por razões já levantadas, como os baixos preços da tarifa de energia elétrica e do óleo combustível.

A análise do banco de dados de consumo e produção de energia da BRACELPA permite estimar um potencial de co-geração a gás na indústria de papel e celulose de aproximadamente 216 MW somente pela substituição do óleo combustível utilizado na geração de energia elétrica.

### **Principais barreiras a uma maior difusão da co-geração no País**

As principais barreiras para uma maior difusão da co-geração no setor industrial brasileiro, de um modo geral, e no setor de papel e celulose, mais especificamente, são:

(i) Tarifa da demanda suplementar de reserva: o procedimento de manutenção anual dos equipamentos de co-geração e as inevitáveis saídas forçadas (não programadas) destes equipamentos levam a paralisações da planta de co-geração. Logo, é necessário que exista um contrato de suprimento de demanda suplementar de reserva, com a concessionária distribuidora local, a fim de garantir o suprimento contínuo de eletricidade para a planta industrial. Tal contrato tem se constituído em um entrave para os projetos de co-geração, uma vez que as tarifas praticadas têm sido entre 3 e 4 vezes superiores ao valor das tarifas de aquisição da demanda normal (BAJAY, 1999).

(ii) Venda do excedente de energia co-gerada: no Brasil ainda falta uma política que incentive a venda de energia excedente gerada por autoprodutores. Em termos comerciais, há dois tipos de energia que podem ser negociados: a energia firme e a energia interruptível. Normalmente, co-geradores de grande porte, que operam com uma carga térmica praticamente uniforme, encontram mais vantagens e facilidades na realização de contratos de longo prazo. Por outro lado, os co-geradores de pequeno porte e os que produzem energia de forma interruptível têm dificuldades de realizar contratos de longo prazo, o que os leva a enfrentar custos mais altos de comercialização.

(iii) Tarifas de gás e eletricidade: constituem-se em uma importante barreira para a co-geração no Brasil. A eletricidade excedente representa uma receita para o investidor em co-geração ao passo que o consumo de gás representa um custo. As tarifas de aquisição de energia elétrica excedente de co-geradores têm sido consideradas baixas pelos possíveis potenciais

investidores em plantas de co-geração. Neste ponto tem ocorrido uma manobra interessante por parte das concessionárias de energia elétrica que, temendo a entrada de novos concorrentes no mercado, reduzem as tarifas para o potencial co-gerador (através da mudança para grupos tarifários mais favoráveis, no caso de consumidores cativos, ou através de tarifas negociadas, no caso de consumidores livres). Com tarifas reduzidas, bem inferiores a seu custo evitado de curto e longo prazo, o potencial co-gerador se sente desestimulado e os projetos de co-geração ficam prejudicados. Em relação às tarifas de gás, estas são indexadas com base em uma cesta de óleos cotada no mercado internacional. Seu elevado custo fixo e o regime rígido dos contratos (cláusulas do tipo “*take or pay*”), atrelado à moeda norte americana, o dólar, induz a um desbalanceamento entre a receita advinda da eletricidade excedente, cotada em Real (R\$), e o gás utilizado para gerá-la.

(iv) Taxas de juros e condições de financiamento: as condições de financiamento no Brasil são bastante desfavoráveis. As taxas de juros praticadas no País estão bastante altas, dificultando o financiamento de qualquer empreendimento. A alternativa de aquisição de recursos externos leva, obrigatoriamente, ao envolvimento com instituições privadas internacionais. Isso implica na responsabilidade de assumir as incertezas quanto à flutuação do câmbio, potencializando os riscos envolvidos. Por seu turno, nos últimos tempos, investidores estrangeiros não têm demonstrado interesse em investir pesadamente no País. Uma outra possível alternativa e que já vem sendo realizada em alguns países, é a realização de um “*Project Finance*”, que traz consigo o inconveniente do aumento de custos e tempo de negociação, em relação aos modelos de financiamento tradicionais.

(v) Taxas de câmbio: a instabilidade brasileira frente às taxas de câmbio internacionais, notadamente a partir de 1999, interfere negativamente nos projetos de co-geração, com efeitos adversos nos preços de equipamentos e tecnologias que são cotados em dólar.

### **Conclusões**

A produção de resíduos com características combustíveis, aliada à perspectiva de uma penetração mais incisiva do gás natural em sua matriz energética, coloca a indústria de papel e celulose em uma posição estratégica em relação à autoprodução de eletricidade, em eficientes sistemas de co-geração de energia.

A produção de eletricidade em larga escala pela indústria de papel e celulose em sistemas de co-geração é uma alternativa de potencial expressivo. Entretanto, muitas barreiras ainda precisam ser superadas para que uma fração mais significativa desse potencial possa ser viabilizada dentro de um espaço de tempo relativamente curto.

As principais barreiras atualmente presentes e que emperram programas de geração distribuída de energia elétrica são decorrentes de uma postura ainda conservadora por parte dos agentes econômicos envolvidos. De uma forma geral, o poder público, as empresas do setor elétrico e as do segmento de papel e celulose deveriam explorar mais a possibilidade de criação de parcerias. A parceria constitui-se em um mecanismo que, se bem estruturado e habilmente conduzido, pode levar um eventual programa de geração distribuída de energia elétrica ao sucesso. A geração e a comercialização de energia elétrica excedente a partir do processo de produção de papel e celulose, além de apresentar condições de competitividade perante outras formas de geração elétrica, pode ser vislumbrada como uma opção para a auto-suficiência energética de fabricantes de papel e celulose através da viabilização de empreendimentos na forma de parcerias.

A análise retrospectiva da indústria de papel e celulose, efetuada neste trabalho, mostra uma indústria robusta e fortemente inserida na economia globalizada, além de preocupada com o meio ambiente, em razão da necessidade de colocação de seu produto no mercado internacional, cada vez mais exigente em termos ambientais. O consumo de combustíveis e eletricidade é muito alto nesta indústria, considerada energia-intensiva. Já a análise prospectiva realizada neste trabalho indica uma tendência de aumento na produção, principalmente de celulose, e aumentos no consumo de eletricidade e combustíveis, mesmo adotando-se algumas medidas de conservação de energia. A tendência ao aumento da autoprodução de eletricidade também é detectada, juntamente com a possibilidade de inserção de novas tecnologias de produção de eletricidade, principalmente as que envolvem ciclos com turbinas a gás ou a gaseificação de biomassa, particularmente a lixívia.

Visto ser uma atividade industrial altamente globalizada, mas que apresenta uma grande variação em seus balanços anuais, ora com lucros fantásticos, ora com prejuízos consideráveis, esta indústria poderia utilizar a venda de eletricidade excedente como uma forma de atenuar tais variações. Porém, a questão energética ainda não chama muito a atenção dentro do meio empresarial ligado à produção de papel e celulose. Os empresários

do setor preocupam-se, atualmente, mais com as questões ambientais ligadas à produção de papel e celulose, uma vez que a conquista do mercado internacional está diretamente ligada à “carga ambiental” agregada ao produto. Finalmente, o poder público começa a sinalizar positivamente na criação de condições mais adequadas ao processo de co-geração de eletricidade e calor de processo, com a adoção de mecanismos de fomento como a Lei N° 10.438, de 26 de abril de 2002, e o decreto N° 4.667, de 04 de abril de 2003.

A Lei N° 10.438, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, além da criação do programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (Proinfa) e da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), pode ser considerada um grande avanço em termos de fomento à co-geração de energia elétrica a partir da biomassa.

O decreto N° 4.667, que estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica, compra de energia elétrica do serviço público de distribuição, entre outras regulamentações, deve promover um incentivo maior para a autoprodução de eletricidade. Este decreto, basicamente, estipula o fim da política de subsídios cruzados para os setores eletrointensivos. O artigo 1° § 2° aponta para o fim dos subsídios de forma gradual com pesos de 90%, 75%, 50%, 25% e 0% em 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007 respectivamente. Isso obrigará os segmentos eletrointensivos, o que inclui a indústria de papel e celulose, a adotar um posicionamento mais efetivo quanto a políticas de conservação de energia, consumo e autoprodução de eletricidade, possivelmente reestruturando a sua matriz energética. Tais medidas devem proporcionar uma mudança no curto prazo, provocando um eventual incremento na capacidade de autoprodução de energia elétrica na indústria de papel e celulose.

Tais medidas facilitam a penetração de novas tecnologias na indústria de papel e celulose, que devem acontecer de uma forma mais acentuada à partir da segunda metade da década de 2000. Neste ínterim, os processos de produção e de geração de energia das fábricas são os que deverão receber o maior aporte de novos equipamentos e tecnologias. No processo de produção, devem ocorrer mudanças referentes à diminuição da carga de produtos químicos utilizados, seja através dos processos ECF e TCF ou de outros processos ainda em fase de estudos. Nos processos de geração de energia, devem ocorrer mudanças



tecnológicas, principalmente se a utilização do gás natural se fizer de forma mais incisiva, trazendo consigo o uso das tecnologias de ciclos com turbinas a gás. Além disso, a biomassa deve manter sua importância para esta indústria, principalmente a lixívia. Neste caso, a gaseificação da lixívia é uma promessa para o futuro e, por isso, estima-se, neste trabalho, uma possibilidade de maior penetração do gás natural nas fábricas de papel.

A desagregação das indústrias do setor por tipo de planta, nesta tese, permite se trabalhar com diferentes taxas de penetração ou substituição de combustíveis, refletindo melhor a realidade deste segmento industrial.

Os empresários do setor de papel e celulose precisam ficar mais atentos para as questões relacionadas à demanda, conservação e autoprodução de energia. Aliás, a sua postura em relação às questões relacionadas com energia deveria ser equivalente à adotada para com as questões ambientais atreladas à colocação dos seus produtos no mercado internacional. É justamente neste aspecto que pode germinar uma parceria entre o poder público, os empresários e os órgãos de financiamento, cujo resultado prático pode ser a formulação de políticas energéticas e ambientais específicas para este segmento industrial.

Em alguns países essas parcerias estão sendo feitas com sucesso há vários anos. Nos Estados Unidos e no Canadá, por exemplo, são estabelecidas metas, no bojo destas parcerias, para o consumo energético específico e para as emissões de poluentes. Atividades de pesquisa e desenvolvimento - P&D - de novas tecnologias de produção de papel e celulose, geração de eletricidade e processos mais limpos, com financiamento público e privado, também fazem parte destas parcerias.

No caso brasileiro, as parcerias poderiam contemplar, além de questões ambientais e tecnológicas, o estabelecimento de metas de redução da energia agregada à celulose e ao papel exportados.

### Referências Bibliográficas

AGRASimons Limited Consulting Engineers. *A guide to energy savings in the Kraft pulp industry*. Vancouver, BC, ISBN 1-896742-51-3. Canadá, 2000.

ANP, *Modelo de Projeção de Uso de Energia baseado em Coeficientes Setoriais de Intensidade Energética: Princípios e Metodologia*, Nota Técnica SEE nº 14, Superintendência de Estudos Estratégicos, Agência Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, RJ, agosto de 2001. BAJAY, S.V. E CARVALHO, E.B., *Reestruturação do setor elétrico: motivações econômicas, financeiras e políticas*. NIPE/UNICAMP. Campinas, 1998.

BAJAY, S. V., *A indústria de papel e celulose: Seu consumo energético, por usos finais e tipos de plantas, evolução tecnológica e perspectivas de conservação de energia*. In: Congresso Latino-Americano sobre Geração e Transmissão de Energia Elétrica, 3. Campos de Jordão, SP, 1997. *Anais*, v. 2. UNESP, Guaratinguetá, SP, Brasil, p. 699-704.

Balanco Energético Nacional, BEN 2007 (ano base 2006) e anos anteriores.

BERNI, M. D. & BAJAY, S. V. - *Fibras secundárias e a sustentabilidade energética e ambiental da indústria de papel*. In: Congresso Brasileiro de Energia, 9. Rio de Janeiro, 2002. *Anais*, v. 1. COPPE/UFRJ, Clube de Engenharia e SBPE, Rio de Janeiro, p. 246-52.

BRACELPA, 2001. *Relatório estatístico Bracelpa 2001*. Associação Brasileira dos Fabricantes de Papel e Celulose. São Paulo, 2001.

BRUCE, D., Wilson, R., *Steam plant, power generation and effluent treatment*. In: Energy cost reduction in the pulp and paper industry. PAPRICAN - Pulp and Paper Research Institute of Canada. Point-Claire, QC, Canadá, 1999.

MACEDO, I.C. *Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento*. Relatório para o MCT, julho, 2001, Campinas, SP.

PAPTAC. The pulp and paper technical association of Canada. *A guide to energy savings opportunities in the kraft pulp industry*. ISBN 1-896742-51-3. Canada, 1999.

PILAVACHI, P.A., *Power generation with gas turbine systems and combined heat and power*. In: Applied Thermal Engineering, v.20, p. 1421-1429, 2000.

SZKLO, A.S. E TOLMASQUIM, M.T. *Strategic cogeneration-fresh horizons for the development of cogeneration in Brazil*. In: Applied Energy, v. 69, p. 256-268, 2001.

VÉLAZQUÉZ, S.M.S.G, COELHO, S.T., VARKULYA, A. JR., *A cogeração de eletricidade no setor de papel e celulose: avaliação técnica e econômica*. Anais XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, novembro, 1999, Águas de Lindóia, SP.

### Sites Pesquisados

www.abtcp.com.br • www.aracruz.com.br  
www.bahiasul.com.br • www.bndes.gov.br  
www.bracelpa.org.br • www.cenibra.com.br  
www.nosomeio.com.br/img/dilcio/tsld018htm  
www.klabin.com.br • www.mme.gov.br  
www.sbs.org.br • www.suzano.com.br  
www.usdoe.com • www.vcp.com.br

Recebido em 16 de julho de 2007 e aprovado em 14 de agosto de 2007.