Eucalyptus Online Book & Newsletter

ABTCP
Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

°Celsius Degree / Grau Celsius

Um Guia Referencial sobre Ecoeficiência Energética para a Indústria de Papel e Celulose Kraft de Eucalipto no Brasil

Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br
www.eucalyptus.com.br
www.abtcp.org.br

Maio 2010

Empresas patrocinadoras

==========

Agradecimentos

Agradeço à **ABTCP** – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, em especial ao seu gerente técnico engenheiro **Afonso Moraes de Moura** pelo incentivo para que esse capítulo sobre ecoeficiência energética para o setor de celulose e papel de eucalipto no Brasil fosse escrito como um dos capítulos de nosso **Eucalyptus Online Book**.

Agradecimentos também aos meus estimados amigos, engenheiro **Humberto Luis Alves Batista** (Celulose Riograndense) e **engenheiro Vandir Francisco Zanchan** (Cambará Produtos Florestais) pela ajuda em me oportunizar conhecer alguns dados atualizados de processo para que nossos exemplos práticos pudessem ser mais autênticos.

Um abraço e um muito obrigado a todos.

Celso Foelkel

==========

Um Guia Referencial sobre Ecoeficiência Energética para a Indústria de Papel e Celulose Kraft de Eucalipto no Brasil

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- DEFININDO ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA
- DEFININDO O ESCOPO DESSE CAPÍTULO
- ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA PELO SETOR DE PAPEL E CELULOSE
- TIPOS DE ENERGIA DEMANDADOS PELO SETOR DE PAPEL E CELULOSE
- RELAÇÕES ENERGIA / MEIO AMBIENTE
- PRINCIPAIS BARREIRAS À ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA
- TECNOLOGIAS & TECNOLOGIAS - COMO ESTAREMOS NÓS NESSE CONTEXTO ?
- DEFININDO ENERGIA PRIMÁRIA E ENERGIA DE PROCESSO
- EFICIÊNCIAS TÉRMICAS, ELÉTRICAS E MECÂNICAS
- ESTRATEGIANDO PLANOS DE ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA E USO RACIONAL DE ENERGIA NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL
- ENCONTRANDO OPORTUNIDADES TÉCNICAS PARA ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NOSSAS FÁBRICAS
- SELEÇÃO DE INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA
- DESENVOLVENDO MEDIDAS PROFILÁTICAS E SANITÁRIAS PARA ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA
- ENCONTRANDO PROJETOS VENCEDORES EM ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA
- TENDÊNCIAS ECOENERGÉTICAS NO SETOR DE PAPEL E CELULOSE
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Um Guia Referencial sobre Ecoeficiência Energética para a Indústria de Papel e Celulose Kraft de Eucalipto no Brasil

Celso Foelkel
www.celso-foelkel.com.br
www.eucalyptus.com.br
www.abtcp.org.br

DEFININDO ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Ecoeficiência Energética – mais que uma necessidade – uma obrigação

Matéria, também conhecida como **Massa**, e **Energia** constituem-se em recursos naturais altamente utilizados pelo ser humano. Nossas fábricas estão sempre a converter matérias-primas em produtos e para isso precisam utilizar energia. Matéria e energia são coisas intimamente relacionadas. As Leis da Física enunciam isso claramente. Muita energia está presente na forma potencial e primária em materiais conhecidos como combustíveis. Ao se queimar um combustível, ele libera pela primeira vez uma energia com um certo nível de rendimento e eficiência. Cabe ao usuário fazer o melhor uso dessa energia liberada, procurando otimizar os rendimentos, tanto no processo de liberação, como de utilização. Quando um combustível libera pela primeira vez sua energia potencial para uso, essa energia é a que tem maior capacidade de gerar trabalho. Por essa razão, é considerada a energia

de melhor qualidade, a mais nobre. Isso porque a energia nunca é aniquilada ou se acaba, ela apenas vai-se transformando. A cada transformação, ela perde qualidade, ou seja, passa a gerar menos trabalho. Essas duas simples e importantes coisas constituem-se nas leis básicas da termodinâmica. A primeira é a **Lei de Conservação da Energia**, que diz que a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada. É também conhecida como a **Primeira Lei da Termodinâmica**. Por outro lado, a **Segunda Lei da Termodinâmica** enuncia exatamente o que já comentamos: e energia sempre se degrada de formas mais nobres (de melhor qualidade) para formas de menor qualidade. A sua qualidade está associada à capacidade de gerar trabalho útil.

Todo e qualquer fenômeno que ocorre na Natureza (e por conseqüência, em nossas fábricas) necessita de energia para acontecer. A simples movimentação de uma folha de papel de um lugar para o outro exige energia ou trabalho para acontecer. Enfim, usar energia faz parte da Vida.

Nas nossas fábricas, as formas mais comuns de energia são: energia térmica, eletricidade, força motriz e energia eletroquímica. Elas garantem a conversão de nossas matérias-primas em celulose e depois em papel. Todas as fábricas necessitam de matérias-primas a serem convertidas. São formas de matéria ou massa, como o são: madeira, água, gases, produtos químicos, combustíveis, etc. Todos exigiram energia para serem produzidos e demandarão mais energia para serem convertidos.

Da mesma forma que a Energia, a Matéria também não pode ser aniquilada ou criada, apenas transformada. Essa também é uma lei importante da Física, conhecida como **Lei da Conservação das Massas** (ou Lei de Lavoisier). Significa em resumo, que toda massa que entra em um sistema, caso não se acumular nele, deverá sair, na mesma forma ou em formas modificadas.

Essas leis simples são muitíssimo importantes, pois elas regem nossas fábricas, lares e nossas atividades diárias.

Toda vez que usamos alguma coisa, ou transformamos algo, temos rendimentos variáveis para essas operações. Por exemplo, ao usar um combustível, nunca conseguimos aproveitar toda a energia que ele dispõe potencialmente em suas moléculas. Para liberar essa energia pela combustão, teremos um certo rendimento ou eficiência. Em uma caldeira de força, transformamos energia de combustíveis em vapor, uma forma de energia que temos maiores controles e facilidades de manusear. Os rendimentos das caldeiras são relativamente baixos. Uma caldeira de recuperação do processo kraft possui rendimentos térmicos que variam de 60 a 80% ao queimar o combustível licor preto concentrado produzido no processo. Já uma caldeira de biomassa, de óleo combustível ou de gás natural pode ter rendimentos variando entre 75 a 90%. De uma ou de outra maneira, sempre estaremos perdendo energia na geração de calor (ou vapor): pelos gases de combustão, pela irradiação da caldeira, pela pré-secagem dos combustíveis, pela má combustão, etc.

O vapor superaquecido produzido nessas caldeiras deverá ser usado para produção de eletricidade e de vapores de menores pressões (vapores de média e baixa pressão). Essas novas conversões geram novos desperdícios de energia e outros rendimentos. Logo, sempre existem perdas quando convertemos uma forma de energia em outra. Quantas mais vezes transformarmos a energia, mais nós agregamos perdas ao nosso processo industrial. Ao gerar eletricidade, os turbo-geradores apresentam perdas e ao se transmitir essa eletricidade, também existem perdas significativas. Já no lado do usuário, um motor acionado que se vale dessa energia a ele fornecida também tem perdas importantes ao transformar a eletricidade em força motriz em seu eixo. Finalmente, um equipamento movido por esse motor, por exemplo, um picador de toras a cavacos, também tem seu rendimento de conversão e de eficiência de utilização da força motriz recebida. Resulta então uma longa fieira de perdas e rendimentos.

O resultado final de tudo isso é que usamos muito pouca da energia contida primariamente nos combustíveis. No caso da eletricidade gerada em termelétricas sem cogeração, o consumo útil no ponto final de uso pode ser tão baixo como 25 - 30% da energia primária oferecida pelo combustível. Difícil de aceitar isso, não é mesmo?

As perdas em matéria também são grandes nos processos. Perdemos matéria ao colher a floresta, ao picar a madeira, ao converter a mesma em celulose e depois ao fabricar o papel. As perdas ocorrem na forma de toras desperdiçadas na floresta, serragem na produção dos cavacos, fibras perdidas nos efluentes, matéria orgânica como DQO (Demanda Química de Oxigênio) nos efluentes, refugos gerados na fabricação do papel, etc. Em cada situação, perdemos massa e energia que foram usadas nas conversões.

Como é impossível se aniquilar a matéria e a energia, tudo o que foi transferido e usado desses insumos e que não foi necessariamente convertido em produtos, terá sido desperdiçado em novas formas de matéria e energia. Terminam gerando os famigerados **Resíduos**. A Natureza tenta reincorporar esses resíduos de volta, ciclando-os naturalmente. Na maioria das operações industriais, a Natureza espera que a ajudemos, fazendo algo para acelerar esse efeito depurador. Para fazer esse papel depurador nos valemos de processos de tratamento de efluentes, compostagem de resíduos sólidos, queima de gases poluentes, etc. Quando não há equilíbrio entre consumo, geração e reciclagem, poderemos ter sérias degradações ambientais.

Como não existem processos com rendimentos de 100%, sempre teremos algum resíduo a processar. Esses resíduos podem ser de matéria ou de energia. Os resíduos de energia em geral se manifestam na forma de calor (temperatura), ondas sonoras ou ondas luminosas. Já os resíduos de matéria são conhecidos como: lixos, lodos, efluentes, resíduos sólidos, poluentes aéreos, etc.

A Vida se constitui basicamente de Matéria e de Energia. Nossas fábricas de celulose e papel também. Nossas fábricas podem usar de forma

melhor ou pior tanto as matérias como as energias compradas. As eficiências de utilização das mesmas vão depender muito das tecnologias que as fábricas dispõem, da continuidade e eficiência operacional e da competência e comprometimento de quem as opera e gerencia. Quando uma fábrica tem baixa eficiência no uso das matérias-primas, ela terá baixos rendimentos nos processos e resultará em menos produtos finais prontos e convertidos. Terá portanto maior geração de resíduos, maior poluição e maior consumo de materiais e de energia. E custos unitários mais altos também!

Cada fábrica consiste em um processo tecnológico único, resultante de tecnologias que vão sendo agregadas ou modificadas. Fábricas mais antigas, que vão crescendo e se modernizando com o tempo, possuem tecnologias de diferentes idades e rendimentos. Em geral, são agregados tecnológicos mais complexos e menos eficientes do que as fábricas estado-da-arte, construídas com altas escalas de produção e com simplificações processuais importantes.

É muito importante se reconhecer que cada processo tecnológico possui limites de eficiência em conversão de matéria e uso de energia. Não conseguiremos em equipamentos antigos, só através de trabalhos em melhoria contínua e por motivação dos operadores, atingir níveis de rendimentos obtidos em equipamentos muito mais modernos, de idades tecnológicas recentes e com maiores escalas de produção. A cada modernização tecnológica são incorporados níveis melhores de eficiências no uso da energia e das matérias-primas. Por exemplo: por mais que o time operacional se esforce, é impossível se conseguir níveis de eficiência térmica em digestores descontínuos ("batch"), comprados nos anos 1980's, comparativamente aos obtidos em digestores contínuos mais recentes, tais como os conhecidos como "Compact Cooking" e "Lo-Solids". Da mesma forma, uma máquina tipo Fourdrinier clássica, comprada nos anos 1970's, dificilmente terá um rendimento térmico e elétrico tão bom quanto uma máquina de telas duplas, prensas úmidas do tipo sapata ("shoe presses") e sistemas de condensados e vapores otimizados.

Evidentemente, isso não deve ser um fator desmotivador aos que possuem fábricas mais antigas e de idades tecnológicas mais avançadas. Pelo contrário, deve ser um estímulo aos que operam essas máquinas para fazer isso com a maior eficiência possível para tentar aumentar a sobreviva das mesmas na difícil tarefa de competição com as fábricas mais modernas que fazem o mesmo tipo de produto.

A avaliação da eficiência de uso das matérias-primas e da energia costuma ser feita com base em alguns indicadores. Os mais comuns são os consumos específicos por unidade de produto e os rendimentos de cada operação ou unidade industrial. Por exemplo: o rendimento de conversão da madeira em celulose é uma forma de mostrar a nossa eficiência em converter a matéria-prima (madeira) em produto (celulose). Esse mesmo rendimento poder ser mostrado de outras maneiras, englobando índices relacionados à matéria-prima madeira (sua densidade básica), como por

exemplo o consumo específico de madeira em metros cúbicos de madeira por tonelada seca ao ar de celulose.

Os consumos específicos de energia também costumam ser medidos nas fábricas e em geral apresentados em unidades diferentes, conforme estejamos falando em energia elétrica (kWh/t; MWh/t) ou energia térmica (Gcal/t; GJ/t). Também são comuns os rendimentos ou eficiências percentuais de aproveitamento da energia.

O termo **Eficiência** está associado ao bom uso dos insumos (massa e energia) - em resultar em mais produtos com mesma quantidade de insumos. Ou em usar menos insumos para mesma quantidade de produtos.

Acontece que, como na Natureza a Matéria e a Energia são fortemente inter-conectadas, nas nossas fábricas isso ocorre também. Quando fazemos bom e eficiente uso das matérias-primas, com baixos desperdícios de madeira, fibras, água, etc.; também melhoramos os indicadores de energia. Isso porque estaremos desperdiçando menos energia que em geral é agregada inadequadamente na conversão de insumos a resíduos e depois a energia necessária para tratar esses resíduos. Ao mesmo tempo, aumentamos nossa produção, pois desperdiçamos menos materiais e fomos mais eficientes no uso da energia.

Fica portanto muito claro a todos, assim espero, "que qualquer programa de melhoria do uso da energia não pode estar dissociado de programas globais de ecoeficiência nas empresas, envolvendo racionalização não apenas no uso da energia, mas da matéria também". É muito importante esse conceito, pois é a base do entendimento da **Ecoeficiência Energética**. Vamos dar mais um exemplo muito simples. Nossas fábricas de papel geram enormes proporções de refugos (aparas ou "broke") pelas mais diversas razões: produtos que não atingem às especificações, sobras em bobinas, dificuldades na formatação das bobinas em relação à largura da máquina, perdas na conversão (corte das folhas, etc.), etc. O refugo é muito perverso, ele precisa ser reprocessado e consome mais energia para isso. Também reduz a capacidade de produção de produtos vendáveis pelas máquinas de papel. Basta que se execute uma otimização nessa geração de refugos para se alcançarem ganhos expressivos em redução de consumos de energia, tanto de vapor, como de eletricidade. Portanto amigos, qualquer programa de eficiência energética para ser vencedor precisa ser realizado e incluído como parte de um programa geral de ecoeficiência nas operações. Entendido?

Caso uma empresa decida tão somente por implementar um programa de eficiência energética, de um dia para o outro, poderá quando muito estar fazendo uma otimização de custos de energia e de mudanças em sua matriz de combustíveis. Dificilmente conseguirá sustentar um tipo de programa como esse por muito tempo. Pode até mesmo ser difícil manter os ganhos alcançados nos primeiros momentos da racionalização do uso dos combustíveis. Por essa razão, mais uma vez recomendo que todo programa de eficiência energética nas nossas fábricas seja realizado como parte de um

programa mais amplo de ecoeficiência global na empresa. Insisto nisso, como vocês já devem ter notado.

O termo **Ecoeficiência** é hoje muito bem aceito e praticado em muitas empresas do setor. A denominação ecoeficiência surgiu em função da altíssima relação entre as atividades industriais e o uso mais eficiente dos recursos naturais. Como todas nossas matérias-primas e fontes de energia são recursos da Natureza, ao usá-los melhor, estaremos impactando menos o Meio Ambiente. A ecoeficiência é uma forma de aumentar o suprimento de insumos a uma fábrica sem ter necessidade de se comprar mais deles. Ela é muito amiga do meio ambiente, pois resulta em menor uso de recursos naturais e menor geração de resíduos a depurar. Esses resíduos "economizados" podem ser tanto de matéria, como de energia.

Por essas razões enunciadas, passarei a me referir a partir desse momento muito mais em termos de **Ecoeficiência Energética** do que simplesmente eficiência energética. Prefiro reforçar a vertente ecológica do termo, muito mais adequado nos dias de hoje, pois já vimos que as economias e as eficiências no uso de todos os recursos naturais podem resultar em menores utilizações de energia nas nossas fábricas.

Ecoeficiência energética é uma forma nova, segura, barata e eficiente para se disponibilizar nova energia útil aos processos industriais. Ela é muito efetiva em oferecer energia de baixo custo e de melhor qualidade para nossas fábricas. Resulta também em uma operação mais limpa, além de oferecer a mais limpa de todas as energias. Isso porque estará disponibilizando exatamente a energia que estava virando resíduo.

Vejam mais um exemplo muito simples: as antigas caldeiras de recuperação de licor preto do processo kraft, com tecnologias dos anos 70's, costumavam queimar licor concentrado a 55 a 65% de sólidos secos, o máximo que se alcançava nas seções de evaporação. Esse combustível era muito úmido, a ponto de ser difícil de se sustentar a chama no interior da fornalha em alguns casos. Os operadores eram obrigados a usar algum outro tipo de combustível auxiliar, em geral óleo combustível, para permitir melhor combustão. Somente para aquecer e evaporar a água contida no combustível licor preto se perdiam cerca de 15% da energia primária disponível nos sólidos do licor preto combustível. Hoje, com seções de evaporação e caldeiras de recuperação modernas, queimando licores evaporados a cerca de 80% de sólidos secos, essa perda de energia devido à água presente no combustível caiu para apenas 6%. A energia perdida com a evaporação e aquecimento da água do combustível dentro da caldeira é um resíduo a ser evitado e diminuído ao máximo. As mudanças tecnológicas do sistema de evaporação e da caldeira de recuperação conseguiram então adicionar substanciais quantidades de energia limpa e do tipo renovável para a fábrica, através dos maiores rendimentos térmicos. O que antes eram valores de 60% de eficiência térmica nas caldeiras de recuperação, hoje estão acima de

75% e em muitos casos em cerca de 80%. Esse ganho todo coloca disponível uma energia limpíssima à fabrica, pois se trata de uma adicionalidade relevante de energia em relação à energia potencial desse combustível. Teremos não apenas uma energia mais limpa, como também um muito menor impacto ambiental do processo fabril ao meio ambiente.

Trabalhar por ecoeficiência não significa apenas efetuar saltos de tecnologias, como no caso do exemplo recém citado dos novos e mais ecoeficientes sistemas de evaporação e queima do licor preto. Basta que a equipe operacional da fábrica consiga melhorar a performance dos processos industriais que teremos reduções nos consumos de energia pela redução de fugas e desperdícios de vapores, condensados, eletricidade, etc. Vamos voltar ao nosso exemplo da fábrica dos anos 70's, com uma caldeira de recuperação queimando licor preto concentrado a 55 a 65% de sólidos secos. Por uma mais adequada manutenção dos evaporadores, com um sistema eficiente de lavagem dos efeitos e do condensador de superfície e por um estudo de distribuição mais efetiva do vapor vivo, podemos aumentar e de forma mais consistente o nível de concentração do licor, não mais caindo a valores baixos como 55%. Um ganho de 5% na concentração do licor preto pode representar um aumento de eficiência térmica da caldeira de recuperação de até 3%. Ou seja, a cada 100 GJ de energia primária no licor preto, quando a 60% de sólidos secos estaremos disponibilizando ao processo 3 GJ a mais em relação ao que se tinha com um licor a 55% de sólidos secos.

A ecoeficiência energética permite então:

- "aparecimento" de energia nova e limpa na fábrica;
- redução nos custos energéticos e nos custos de produção;
- ganhos ambientais (redução de desperdícios de calor e eletricidade, redução no consumo de combustíveis fósseis, redução de emissões poluentes, redução de resíduos sólidos, redução de perdas de água como efluentes, etc.);
- redução de gargalos operacionais;
- aumento de eficiência operacional;
- eliminação de vícios operacionais;
- maior produtividade;
- maior competitividade.

A ecoeficiência energética é uma atividade de alto grau de sustentabilidade, não apenas para a empresa, mas para o planeta Terra. Com o mais eficiente uso dos recursos energéticos (sejam eles fósseis ou renováveis) conseguiremos reduzir os impactos antrópicos causados pela nossa Sociedade sobre os recursos naturais. Podem ser diminuídas as demandas de combustíveis, a poluição hídrica e aérea, e também as

demandas de outros insumos associados à energia (água, oxigênio, ar, etc.). Enfim, a ecoeficiência energética é algo a ser muito estimulado e praticado dentro das empresas, preferencialmente associada a programas gerais de ecoeficiência e de produção mais limpa, como sempre gosto de repetir. Ser ecoeficiente é portanto uma prática de cidadania em relação ao planeta Terra.

Já escrevemos diversos capítulos em nosso **Eucalyptus Online Book** acerca de Ecoeficiência e P+L nas nossas fábricas e nas nossas florestas plantadas. Esses capítulos em ecoeficiência setorial estão todos disponibilizados para vocês e citados como referências da literatura e sugestões para leitura. Todos podem ser obtidos de forma gratuita na web. Em todos eles discutimos conceitos dessas ferramentas e temas relevantes a serem trabalhados em nossas fábricas. Esse capítulo atual foca mais os temas energéticos, mas os fundamentos conceituais são os mesmos, por isso sugiro a leitura dos demais capítulos, se tiverem interesse.

Vejam onde encontrar os mesmos:

Ecoeficiência na gestão das perdas de fibras de celulose e do refugo gerado na fabricação do papel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 06. 97 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf

Ecoeficiência e produção mais limpa para a indústria de celulose e papel de eucalipto. Eucalyptus Online Book. Capítulo 09. 86 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT09_ecoeficiencia.pdf

Oportunidades para ecoeficácia, ecoeficiência e produção mais limpa na fabricação de celulose kraft de eucalipto. Eucalyptus Online Book. Capítulo 10. 92 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT10_ecoeficiencia.pdf

Mil e uma maneiras de fazer sua fábrica de celulose e/ou de papel e sua floresta plantada mais ecoeficazes e mais ecoeficientes. Eucalyptus Online Book. Capítulo 12. 125 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT12_P%2BL_final.pdf

Ecoeficiência energética envolve conceitos bastante amplos, íntimo conhecimento das operações industriais e tecnologias setoriais, mas também, requer muita motivação, entusiasmo e dedicação de quem a pratica. A ecoeficiência oferece maior segurança em operações mais limpas e

eficientes, além de se apoiar em um sistema de gestão de energia que se integra ao plano de gerenciamento global da empresa. Estando integrada ao plano de gestão de ecoeficiência da empresa, a ecoeficiência energética será mais uma das ferramentas que a empresa disporá para ser mais eficiente em suas operações e com isso, mais competitiva e mais ambientalmente correta. Inclusive os investimentos em energia devem ser avaliados comparativamente a outros tipos de investimentos, sem se ter uma verba especificamente disponibilizada para os temas energéticos.

Os estudos realizados no Brasil e em outros países como Canadá, Finlândia e Estados Unidos mostram potenciais para se disponibilizar entre 5 a 25% de energia adicional às fábricas de celulose e papel, sem necessidade de compra de combustível para essa energia nova a entrar no processo. Esse percentual varia em função da área fabril, da idade tecnológica, do tipo de produto e do nível de aplicação de ferramentas de eficiência e produtividade nas empresas. Também depende muito do comprometimento da gestão das fábricas.

Energia é um tópico relevante para qualquer empresa do setor de celulose e papel. Em geral, essa relevância é mais sentida nas fábricas não integradas de fabricar papel, que precisam comprar energia elétrica e possuem caldeiras com eficiências não muito elevadas. Às vezes, sequer possuem sistemas de cogeração (sistemas CHP - "Combined Heat & Power" – produção combinada de energia térmica e eletricidade), que são mais eficientes em rendimentos.

Nas fábricas de celulose de mercado, o sentimento de urgência para ecoeficiência energética não costuma ser tão intenso. É fácil entender: em geral, são fábricas praticamente auto-suficientes em geração de energia térmica e elétrica. Nas fábricas mais modernas de celulose kraft de mercado, o único combustível fóssil necessário é o óleo combustível (ou então gás natural) usados na forno de cal para se produzir cal virgem. Toda a energia provém de fontes renováveis como o licor preto concentrado e a biomassa energética (cascas das toras e resíduos de madeira). Os eficientes sistemas de cogeração (CHP = "Combined Heat & Power") que dispõem oferecem altos rendimentos de conversão da energia primária em calor (vapor) e eletricidade. Com isso, a energia gerada nessas fábricas é considerada como sendo muito barata. Primeiro, porque quem paga a conta da biomassa do licor preto é a madeira de processo que vai para a fabricação da celulose. Praticamente nenhuma empresa remunera a energia renovável do licor preto em termos de valor econômico, sendo que esses custos entram como madeira no custo da celulose produzida e não da energia. Seria muito interessante se dividir esse valor de madeira proporcionalmente entre fibras (celulose) e energia (licor preto). Em segundo lugar, a casca das toras e os cavacos de madeira obtidos como resíduos da área de preparação da madeira (entre 2 a 5% do peso de madeira que entra na fábrica) raramente são valorados como energia e entram no custo dos combustíveis. Em geral,

os valores econômicos de descascamento, picagem, classificação de cavacos são todos computados para o custo da celulose sendo fabricada. É como se esses combustíveis fossem presenteados pela área de fabricação de celulose à área de conversão/geração de energia. A conseqüência desses dois fatos é perversa para a área de energia. Acaba-se tendo um valor subestimado para o custo da energia em muitas dessas fábricas. Com custo de energia artificialmente baixo, os investimentos e o entusiasmo em relação à ecoeficiência energética diminuem. Em função disso, os valores de energia em fábricas de celulose kraft de mercado de eucalipto são relativamente baixos comparativamente às fábricas de papel não integradas que muitas vezes pagam caro pela energia elétrica das concessionárias e pelos combustíveis fósseis que compram. Também as fábricas kraft integradas de celulose/papel gozam do "mesmo benefício" de energia artificialmente barata.

Por essa e outras razões é que em muitas dessas fábricas de celulose unicamente de mercado ou integradas celulose/papel as oportunidades de ecoeficiência energética são abundantes. Em alguns casos, o consumo e o desperdício de vapor chegam a ser desastrosos, já que o valor econômico dessa energia é subestimado. Mesmo assim, existem muitas dessas fábricas com interessantes programas de ecoeficiência energética, focados no uso racional da energia em programas de profilaxia e de prevenção ao desperdício de energia. Entretanto, muitos investimentos para melhoria nas tecnologias desperdiçadoras de energia acabam não acontecendo, pelo baixo valor da energia, insuficientes para resultar em taxas de retorno ou de "pay-back" atrativos. Caso as frações da madeira que resultam em licor preto combustível e em resíduos lenhosos combustíveis fossem "cobradas" como combustíveis, as análises de "pay-back" poderiam ser melhoradas e resultarem em maior nível de atratividade.

Muitas fábricas de celulose de mercado privilegiam muito mais os investimentos que aumentam a produção e/ou a eficiência operacional. Como esses investimentos melhoram a operação da fábrica como um global, acabam resultando também em melhorias nos consumos específicos de energia (vapor e eletricidade). Isso acalma os técnicos do setor energético e apazigua os ânimos entre os que competem por recursos escassos para seus investimentos em tecnologias fabris.

De qualquer maneira, existem muitas oportunidades latentes em nossas fábricas para melhor uso e melhor geração de energia. Afinal, nossas fábricas são grandes usuárias de energia. O setor de celulose e papel está entre os cinco maiores consumidores de energia do setor industrial em países como Brasil, Canadá, Estados Unidos, Finlândia e Suécia. Independentemente de como a energia for valorada nas fábricas de celulose e papel, há que se entender que o uso é grande e os recursos energéticos estarão cada vez mais escassos. Qualquer crise no suprimento de energéticos poderá impactar fortemente o nosso setor. Portanto, minimizar

e racionalizar o uso de energia é uma sábia decisão para garantir segurança de nossas operações no presente e no futuro. Em termos ambientais, ecoeficiência energética é muito mais que apenas isso, é uma obrigação em relação à sustentabilidade.

Muitas das oportunidades que existem nas nossas fábricas são muito simples e requerem apenas medidas de manutenção, adoção de novos procedimentos ou eliminação de vícios operacionais (às vezes causados por desconhecimento ou falta de treinamento). Essas oportunidades são conhecidas como "quick-fixes" (consertos rápidos). Elas mostram resultados rápidos e imediatos praticamente sem investimentos de capital. Uma coisa é certa: não podemos estar sempre transferindo para a área de manutenção a responsabilidade por perdas de eficiência energética. A operação deve fazer a sua parte e cuidar de fazer muito bem. A limpeza de equipamentos que transferem calor, a limpeza de telas e feltros na fabricação do papel, também a limpeza dos efeitos dos evaporadores, etc. são todos fatores operacionais relacionados à ecoeficiência energética. Muitos operadores se descuidam disso, e a conta da energia ficará sendo paga pelo produto e não por eles. Uma sugestão adequada seria incluir desempenhos energéticos nos programas de pagamento de gratificações por resultados aos operadores e técnicos.

Energia é um tópico cada vez mais estratégico para o setor de celulose e papel, não apenas sob o ponto de vista das empresas, como dos próprios governos interessados em otimizar seus balanços energéticos nacionais. Apesar de todos os avanços tecnológicos que o setor brasileiro de celulose e papel conseguiu, com modernas e eficientes fábricas estado-da-arte no setor de celulose de mercado de eucalipto, esse tema está a demandar novas posturas e atitudes empresariais para otimização e racionalização energética nas fábricas. As perdas de calor na forma de altas temperaturas dos efluentes brutos e dos gases de exaustão dos processos de combustão são ainda enormes. Vejam tão somente esse novo exemplo: uma fábrica moderna de celulose tem um consumo de água captada que varia entre 25 a 40 m³/tonelada de celulose seca ao ar (**tsa**), gerando cerca de 20 a 35 m³ de efluente por tonelada de produto. Essa água entra na fábrica com temperaturas da água do rio (cerca de 25ºC) e sai do processo fabril com temperaturas de mais de 65ºC. Ainda mais que, desde que se descobriram os terríveis ácidos hexenurônicos formados na polpação kraft, as temperaturas foram elevadas em estágios de destruição dos mesmos a valores acima de 85ºC. Os efluentes, além de serem superaquecidos, ainda gastam energia para seu resfriamento em torres de refrigeração ou em trocadores de calor. Imaginem que a quantidade de energia que se perde na forma de calor em efluentes quentes é de aproximadamente 5 GJ/tsa. Quanto maior a quantidade de água que a fábrica consumir por tonelada de

produto, maior serão as perdas de energia, uma regra simples e válida a todas as empresas do setor.

Outra grande perda são as demandas de energia elétrica para bombeamento: mais de 50% de toda energia elétrica usada nas fábricas de celulose e papel são gastas em bombeamento de suspensões de fibras ou de filtrados e efluentes.

Finalmente, para despertar ainda mais a voracidade energética estão os gases de exaustão das caldeiras e incineradores, inclusive do forno de cal. Uma caldeira de recuperação precisa eliminar gases a temperaturas acima de 140°C para evitar a condensação de ácidos (sulfúrico, carbônico, sulfuroso, etc.). Acontece que esses volumes de gases são fantásticos. Uma caldeira de recuperação expele cerca de 3.500 – 4.500 Nm^3 de gases úmidos de exaustão por tonelada de sólidos secos queimados. A perda se dá principalmente pelo inerte nitrogênio, que está presente para nada nos gases de combustão, ou então, apenas para desperdiçar calor. Também a umidade do ar de combustão é grande desperdiçadora da energia primária dos combustíveis. Essa umidade vem tanto da umidade dos combustíveis como pela queima da matéria orgânica dos combustíveis. Lembrem-se que como resultado de qualquer combustão de material contendo carbono, conforme a nossa conhecida Lei de Conservação das Massas de Lavoisier, formam-se quantidades correspondentes e balanceadas em massa principalmente de gás carbônico e água.

Enfim amigos, as oportunidades estão às nossas portas, precisamos apenas desvendá-las e trabalhar nelas.

==========

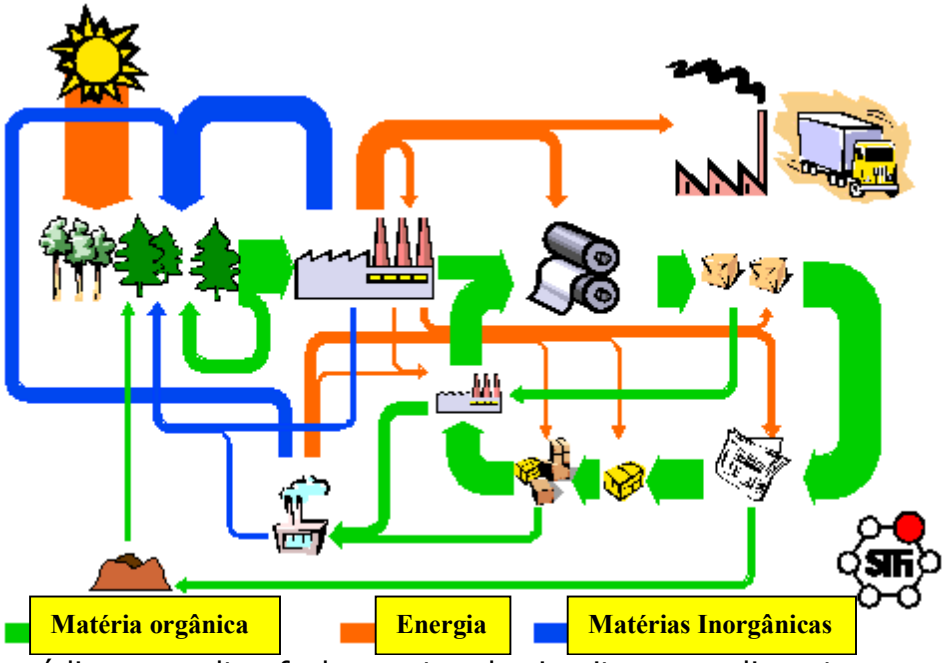
DEFININDO O ESCOPO DESSE CAPÍTULO

O frase **Ecoeficiência Energética** tem significado muitíssimo vasto, afinal tudo na Natureza envolve o uso da energia com rendimentos variáveis. Portanto, temos vertentes econômicas, políticas, ambientais, sociais, etc. É definitivamente um tema a ser tratado de forma estratégica por empresas, países e até por nós mesmos, em nossos lares. Esse capítulo não tem o propósito de esgotar o assunto, mas tampouco queremos abordá-lo de forma superficial. Dentro da própria indústria de celulose e papel há muitas formas e maneiras de se trabalhar a ecoeficiência energética, conforme o tipo de produto sendo fabricado, se o foco é mais ambiental, político, econômico ou técnico. Apesar das diferenças entre os indicadores para fábricas de celulose de mercado, fábricas de papel, fábricas de pasta de alto rendimento, fábricas de papel reciclado, etc., os conceitos básicos são válidos em quaisquer dessas situações. Enfim, como já mencionamos, cada fábrica do setor tem sua configuração própria, às vezes com diferentes insumos, equipamentos, matrizes energéticas, etc. A complexidade e a individualidade são próprias de cada unidade fabril, por essa razão a importância de se conhecer bem o que deve ser otimizado.

Assim sendo, procurei definir o escopo e abrangência desse capítulo no que tem sido a força motriz do **Eucalyptus Online Book**, que é o processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto para essa indústria no Brasil. Como a madeira do eucalipto tem sido a principal matéria-prima

fibrosa para a fabricação de celulose kraft branqueada de mercado e papéis brancos (impressão e escrita, sanitários e papéis especiais), coloquei mais ênfase nesses processos. Trata-se portanto muito mais de um capítulo de cunho tecnológico, do que um capítulo para discutir políticas públicas, indicadores globais de mudanças de clima e energia, fontes de financiamento, etc. Isso definitivamente não faz parte do escopo desse capítulo em questão. Pode eventualmente ser inserido em outros no futuro, mas não nesse.

Esse capítulo entretanto, oferece oportunidades muito claras para se entender os conceitos de ecoeficiência energética a nível setorial, aplicando-se por isso mesmo a diversos tipos de processos de fabricação de celuloses e papéis. Esse capítulo tem também a missão de criar um banco de dados amplo e abrangente sobre ecoeficiência energética para esse setor industrial. Disponibilizamos uma ampla e relevante literatura, a maior parte dos textos sendo disponibilizados para downloading grátis na web. Alguns documentos importantes e clássicos de ecoeficiência são citados como fontes de leitura e mesmo que não possam ser descarregados para leitura, há indicações de onde podem ser obtidos para compra ou empréstimo. O autor possui praticamente todas as referências sugeridas - caso alguma fonte bibliográfica não seja encontrada pelo leitor, sempre é possível se contatar celso.foelkel@via-rs.net para negociar uma cópia ou empréstimo, ou via ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (nit@abtcp.org.br) .



Fábrica ecocíclica com altos fechamentos de circuitos e rendimentos – versão STFI (atualmente Innventia - http://www.innventia.com)

==========

ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA PELO SETOR DE PAPEL E CELULOSE

Madeira de eucalipto – fonte de fibras e de energia renovável para nossas fábricas de celulose e papel

A indústria de celulose e papel é grande consumidora de energia. Em países grandes produtores desses itens como Brasil, Estados Unidos, Canadá, Finlândia e Suécia consiste em um dos 5 maiores segmentos industriais de consumo. Nos Estados Unidos é a terceira usuária de energia na indústria, ficando atrás somente da indústria do petróleo e da indústria química. No Brasil, o mesmo modelo acontece – terceira colocada na indústria de manufatura, sendo superada apenas pela indústria de alimentos e bebidas e pela indústria do ferro/aço. De acordo com as estatísticas governamentais, a indústria brasileira de celulose e papel consumiu em 2008 cerca de 4% de toda a energia primária consumida no País. Em relação ao setor industrial, esse percentual sobe para 8 a 10%. Pelos dados do BEN – Balanço Energético Nacional – 2009 (Ano base 2008), editado pelo MME – Ministério de Minas e Energia do Brasil, o País consumiu em 2008 cerca de 236.511.000 tep (toneladas equivalentes de petróleo). Desse total, cerca de 48% eram provenientes de fontes renováveis (hidreletricidade, lenha, bagaço de cana, carvão vegetal, biogás, etanol, etc.). O setor de celulose e papel consumiu 8.957.000 tep, tendo uma matriz muito apoiada em fontes renováveis de energia. De acordo com a BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel, em 2009 a matriz energética setorial tinha 66% de sua composição energética como sendo de licor preto gerado nas fábricas de celulose kraft (integradas ou de celulose de mercado); 19% de biomassas energéticas (cascas, lenha, resíduos de madeira, etc.); 9% de gás natural e 6% de óleo combustível. Portanto, apenas 15% de combustíveis fósseis e 85% de recursos energéticos renováveis.

Por outro lado, o BEN 2009 (Ano base 2008) relata dados ligeiramente diferentes para o setor, pois engloba também a energia elétrica comprada pelo setor, que é significativa nas fábricas não integradas de papel. Das 8.957.000 tep (375.000 TeraJoules – TJ; ou 375 PetaJoules - PJ) consumidas pelo setor em 2008, um percentual de 45,5% foram originados do licor preto concentrado; 15,3% de biomassas; 5,8% de óleo combustível e 5,7% de gás natural. Os restantes 17,1% da energia foram de energia elétrica comprada do fornecimento público ou de redes de concessionárias de energia elétrica. Ainda de acordo com o BEN 2009, o setor utilizou 0,403 tep/tonelada total de produção (celulose mais papel no ano = 22.212 toneladas). Caso transformemos esse consumo específico unitário em GJ (1 tep = 41,9 GigaJoules), teremos um consumo específico médio para o setor de 16,9 GJ/tonelada. Evidentemente, esses dados carecem de melhor embasamento tecnológico, pois para as fábricas integradas as toneladas de celulose são contadas duas vezes: uma vez como celulose e outra entrando na composição do papel. Entretanto, servem de base de monitoramento e de aferições de performances históricas.

Ainda de acordo com o BEN 2009, o setor de celulose e papel produziu 8.536 GWh de eletricidade em suas próprias instalações, especialmente por queima de licor preto (5.453 GWh/ano) e biomassa energética (1.275 GWh/ano). As fontes hidrelétricas próprias do setor são pequenas – cerca de 89,4 MW de potência hidrelétrica instalada, para 1.216,1 MW de potência termelétrica instalada. Por isso, a demanda elétrica é ainda insuficiente, diferentemente do caso do calor (energia térmica). Apenas cerca de 50% do consumo de eletricidade provém de fontes próprias, sendo o restante adquirido de concessionárias de energia elétrica. O total de energia elétrica demandada pelo setor em 2008 foi de 17.764 GWh. Os grandes usuários a comprar energia elétrica têm sido: fábricas de papel reciclado, fábricas integradas de celulose/papel, fábricas não integradas de papel.

Graças às modernas termelétricas e sistemas de cogeração, o setor de celulose de mercado gera a maior parte da energia elétrica consumida nessa área de fabricação, plantando assim um fator importante de competitividade setorial. A cogeração representa parcela importante da energia elétrica gerada no setor, sendo que ainda está crescendo em novas instalações. Frente a isso, a energia é um insumo importante e relativamente dominado no setor. As fábricas modernas de celulose de mercado (e as não tão modernas, também) são praticamente auto-suficientes em energia, valendo-se de fontes de combustíveis próprias e renováveis, como licor preto e biomassas energéticas. Apenas o forno de cal consome ainda cerca de 1 a 1,5 GJ de combustível fóssil por tonelada seca ao ar de celulose. Pequenas quantidades de óleo diesel são usadas em arranques de fábricas e em geradores de emergência, mas esse percentual é desprezível em termos de balanços nacionais.

O gás natural e o óleo combustível são importantes fontes energéticas para as fábricas não integradas de papel e fábricas de papéis reciclados (com preparação da massa a partir de aparas). Opostamente às fábricas de celulose de mercado, que possuem inclusive excedentes de energia elétrica para venda a terceiros, as fábricas integradas e não integradas de papel são deficitárias em sua geração de eletricidade. Geram vapor suficiente para suas máquinas térmicas, mas a quantidade de energia elétrica associada a essa geração térmica é insuficiente, mesmo pelo uso de cogeração. Em geral, são quase sempre dependentes de fontes externas de eletricidade. É por essa e outras razões que as fábricas integradas e não integradas de papel conseguiram criar uma cultura mais firme em termos de ecoeficiência energética.

Outra conclusão importante a ser aprendida desses dados é que a integração de fábricas de celulose e papel é uma oportunidade muito mais sábia e ecoeficiente do que as fabricações em separado desses dois produtos. A integração do "cluster" papeleiro definitivamente agrega ecoeficiência energética ao setor. Enquanto sobra energia elétrica na fábrica de celulose de mercado, falta eletricidade na fábrica integrada. A integração desses dois tipos de produção equaliza, otimiza e consolida em uma única unidade produtora e consumidora essas duas manufaturas. Além disso, a fábrica de celulose de mercado não mais precisará consumir vapor e eletricidade para formar e secar a folha de celulose e depois embalar os fardos. São economias de cerca de 0,14 a 0,16 MWh/tsa de eletricidade e de 1,7 a 2,5 GJ/tsa de energia térmica. A integração é um importante fator a promover redução de consumo de energias, tanto elétrica como térmica.

Também a produção de papel reciclado é mais eficiente energeticamente do que a fabricação de papel de fibras virgens, mesmo que aqueles manufaturados em fábricas integradas.

Em alguns países, como o Chile por exemplo, a integração vai além da fabricação de celulose e papel. São formados verdadeiros "clusters" de base florestal, englobando fábrica de celulose, fábrica de papel, serrarias, fábrica de aglomerados, etc. com uma única central de geração de energia térmica e elétrica por cogeração. Também a simplificação ocorre a nível de tratamento de efluentes, águas, sistemas gerenciais, etc. A integração no "cluster" (agregados ou arranjos produtivos, como chamam alguns) oportuniza reduções de custos de produção, simplificação nos investimentos de capital, melhores distribuições de energia e redução de perdas de transmissão, bem como simplifica áreas administrativas, gerenciais, laboratoriais, de marketing, etc. Resultam ganhos em consumos específicos, reduções de custos unitários, e aumentos de resultados financeiros. Raramente um "cluster" bem equilibrado e projetado demandará fonte externa de energia, tanto térmica como elétrica. Mesmo que haja alguma sobra de vapor, as turbinas de condensação/extração ("CEST =

Condensing/Extracting Steam Turbines") darão conta do excesso de vapor de forma eficiente, sem ter que se desperdiçá-lo.

Enquanto no Chile a opção tem sido agregados ou arranjos produtivos mais complexos na base florestal, em Portugal a meta estratégica é a integração das fábricas de celulose e papel em sua totalidade, sem necessidade de combustíveis fósseis auxiliares e que ainda sobre nessa integração energia elétrica excedente para venda ao mercado. Tudo isso a partir de 100% de recursos energéticos renováveis (licor preto concentrado, biomassas e hidreletricidade).

Até o momento, o modelo brasileiro tem sido diferente do chileno e do português. Há uma forte ênfase na construção de fábricas extremamente eficientes de celulose de mercado, tirando todas as vantagens possíveis da economia de escala em unidades de produção estado-da-arte. Os baixos consumos específicos de energia são conseguidos pela instalação de fábricas com as melhores tecnologias disponíveis e de idades tecnológicas muito recentes. Infelizmente, esse não é o modelo mais ecoeficiente em termos energéticos, apesar de oferecer consumos específicos baixos em função da economia de escala e das excepcionais eficiências operacionais. Hoje no Brasil, as fábricas de celulose de mercado mais recentes estão sendo projetadas e construídas para produção de 1,0 a 1,5 milhões de toneladas de celulose de mercado por ano. Essas fábricas acabam sempre tendo um excedente de vapor a ser condensado e um excedente de energia elétrica para venda a terceiros. Esse excedente de energia elétrica para venda pode atingir entre 0,2 a 0,4 MWh/tsa.

Apenas devemos lembrar duas coisas para completar esse tema: a energia elétrica sofre significativas perdas com sua transmissão e distribuição; as turbinas de condensação apesar de eficientes, também são menos ecoeficientes do que se todo o vapor fosse utilizado no processo, sem necessidade de condensação. Caso esse vapor e energia elétrica excedentes fossem usados no próprio "cluster", a ecoeficiência energética seria maior, acho que está claro para todos, não é mesmo?

Apesar dessa busca pela eficiência operacional e escala de produção, há ainda muita diversidade no setor de celulose e papel brasileiro. Nem todas as fábricas são estado-da-arte e também o estado-da-arte é transitório. Em pouco tempo, as tecnologias se aperfeiçoam e as exigências energéticas mudam também. Há um consenso de que as fábricas futuras demandarão cada vez menos vapor, mas o consumo específico de eletricidade poderá aumentar ligeiramente, pela busca de tecnologias que trabalhem em consistências mais elevadas e com menos água e pela introdução de equipamentos tipo "kidney" (rins depuradores) que irão demandar consumos adicionais de eletricidade. As modernizações

tecnológicas resultarão em fábricas que vão trabalhar a consistências maiores e com muito menos água. Será muito menos vapor para aquecer esses fluxos de massa e filtrados, mas as potências dos equipamentos motrizes poderão aumentar ligeiramente.

De qualquer maneira, essa ampla diversidade tecnológica que temos no Brasil oferece distintas e variadas possibilidades de implementações e ganhos em ecoeficiência energética. A ecoeficiência energética está mostrando potenciais de ganhos que variam entre 5 a 25% no consumo unitário de energia, dependendo da configuração industrial e cultura energética de cada unidade produtiva. As oportunidades são maiores para economias em vapor do que para eletricidade. Isso porque a famosa crise elétrica que o país viveu no início dos anos 2000's por carência de chuvas fez com que a indústria se mobilizasse para ecoeficiência energética no setor elétrico. Frente às pressões causadas naquela época, foram incorporadas medidas profiláticas e sanitárias em conservação de energia elétrica processual com muito sucesso em nossas fábricas, em especial nas fábricas de papel não integradas. Com isso, as oportunidades em racionalização no uso da energia elétrica de processo mostra oportunidades de ganhos inferiores aos de economias em vapor (calor ou energia térmica). Como esses números são variados conforme a fonte, vamos apenas fornecer o dado médio relatado pela CNI – Confederação Nacional da Indústria, que sugere ganhos potenciais em ecoeficiência energética de 19,3% para o setor de celulose e papel como um todo (aferidos por avaliações feitas em 2009). As maiores oportunidades são relatadas pela CNI para as fábricas não integradas de papel, onde muitas no Brasil ainda não dispõem de cogeração de energia. As oportunidades de ganhos em conservação de energia para as fábricas de celulose de mercado, papel reciclado e integradas de papel variam entre 13,3 a 16,2% em média por segmento. As plantas de papel reciclado e as integradas de celulose/papel estão sendo mais ecoeficientes em geração e consumo de energia, seguidas pelas fábricas de celulose de mercado.

Esses dados reforçam conceitos já vistos anteriormente: a cogeração é uma tecnologia vital para fazer parte da vida das fábricas do setor; a integração papel/celulose melhora a eficiência energética das fábricas; as fábricas de celulose por terem energia barata e disponível em excesso desperdiçam mais vapor e energia elétrica. Nada mais natural, onde há excesso e abundância costumam ocorrer desperdícios maiores, já que não existem pressões causadas por restrições.

Programas de conservação de energia e de racionalização desse uso costumam ser muito favoráveis às empresas do setor. Em diversas épocas passadas o setor se mobilizou para melhores resultados em conservação de energia. É interessante citar o importante papel de duas associações de classe: a BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel e a ABTCP –

Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São fortes braços a apoiar o setor na elaboração de estudos, diagnósticos, desenvolvimento de indicadores, programas de "benchmarking" energético, etc. Outro importante parceiro do setor nos anos 70's a 90's foi o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Ainda existem vivos e dinâmicos em muitas bibliotecas do setor alguns manuais de conservação de energia editados pela esforço técnico do IPT nos anos de 1978 (3 volumes) e 1985 (2 volumes). Essas obras estão referenciadas na literatura desse capítulo.

Um programa organizado e institucional para ecoeficiência energética setorial pode colaborar para melhorias das operações de nossas fábricas como um todo e não apenas nos aspectos energéticos. Existem oportunidades para redução de custos de produção, aumento de produtividade, otimizações de performances, venda de excedentes energéticos, etc. Enfim, tudo que nossos executivos apreciam ouvir e ver acontecer. Infelizmente, alguns ainda não perceberam as vantagens desse tipo de programa.

Quando a conta de energia é alta, como no caso das fábricas não integradas de papel ou nas de papéis reciclados (inclusive papéis sanitários reciclados), as pessoas são mais sensíveis a mudanças, pois o bolso ajuda a pressionar ações de melhoria de custos (e de performances, por conseqüência). Portanto, as fábricas não integradas devem continuar priorizando mais intensamente a gestão da energia, especialmente no caso de fábricas existentes em processos de modernização.

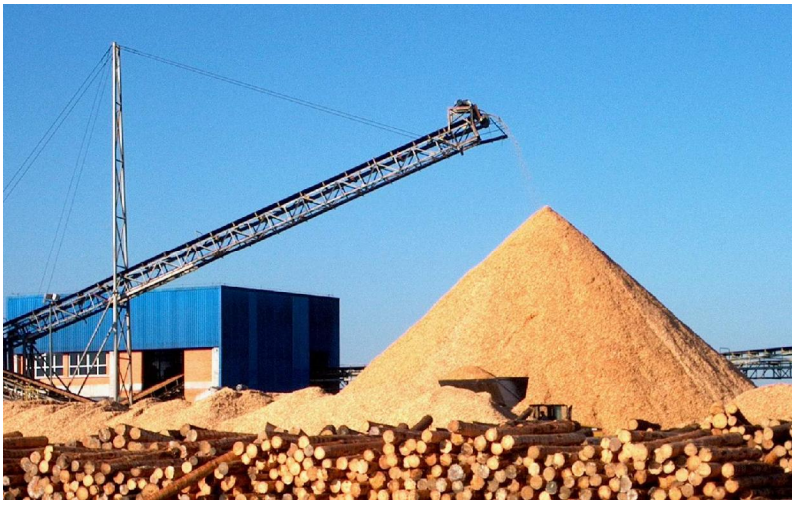
Já as fábricas de celulose de mercado, essas estão sempre atentas a expansões de capacidade produtiva, com modernizações e construções de novas linhas de fibra integradas ou não às antigas. Nesses casos, é muito comum a busca pela melhor tecnologia disponível para essas novas linhas, com novas instalações modernas e já comprovadas tecnologicamente. O setor de papel e celulose, até mesmo pelos altos custos de investimentos e longos prazos para maturação financeira, é muito ligado a tecnologias eficientes, mas já devidamente comprovadas. Portanto, para o caso brasileiro, podemos no momento esperar sempre por novas e modernas fábricas, com elevadas eficiências operacionais. Elas deverão ter eficiências melhores em consumos de água, energia elétrica, vapor e demais insumos. Entretanto, dificilmente teremos instalada no Brasil uma geração tecnológica absolutamente inovadora em conceitos produtivos, antes de que já esteja comprovada industrialmente em alguma outra parte do mundo (em geral na Escandinávia ou América do Norte, por exemplo). Por exemplo: fala-se muito em fábricas associadas a biorefinarias para geração de biocombustíveis renováveis; ou então com gaseificação de biomassa para uso de energia limpa no forno de cal; fala-se também em secagem da folha úmida de papel por impulsos ("impulse drying"); como também se fala em precipitação de lignina do licor preto para gaseificação da mesma e geração de gases combustíveis. Esses saltos tecnológicos deverão certamente acontecer

primeiramente em outros locais, para depois serem implementados nas nossas fábricas – disso eu não tenho dúvidas. Há até certo ponto uma aversão a saltos tecnológicos considerados perigosos ou arriscados – como seria o caso das biorefinarias (produção integrada de celulose e biocombustíveis), muito badaladas atualmente nos países desenvolvidos. Mais uma vez, isso é perfeitamente compreensível em um País que tem escassez e custo caro para o capital, além de tributação excessiva sobre os investimentos.

Eucaliptos – raiz do sucesso da produção industrial brasileira de celulose e papel

==========

TIPOS DE ENERGIA DEMANDADOS PELO SETOR DE PAPEL E CELULOSE



O setor de papel e celulose utiliza basicamente os seguintes tipos de energias em suas operações:

- Calor para cogeração (vapor superaquecido de alta pressão para movimentar turbo-geradores e produzir energia elétrica e térmica);

- Calor de processo (vapores de média e baixa pressões para aquecimentos diversos);

- Calor recuperado ou calor secundário (calor trocado em trocadores de calor, economizadores, transferências de condensados, etc.);

- Força motriz (energia resultante da ação de motores sobre um eixo móvel em bombas, picadores, refinadores, etc.);

- Energia de refrigeração (energia usada em refrigeração de água para plantas químicas e sistemas de ar condicionado);

- Energia para processos eletrolíticos (energia usada em células de cloro-soda, geração de clorato de sódio, etc.);

- Iluminação: iluminação de interiores e exteriores;

- Outros tipos: energia elétrica usada em escritórios, equipamentos de controle, etc.

Em cada uma dessas situações podemos ter índices de eficiência diferentes e variados, muitas vezes com baixos resultados no aproveitamento e na utilização dessas energias. Frente à diversidade tecnológica setorial, muitas vezes encontramos uma situação de excepcional eficiência em uma fábrica onde existem alguns usos desastrosos para o mesmo tipo de energia. É por essas razões que o envolvimento de terceiros em programas de diagnósticos e auditorias energéticas pode ser considerado bastante recomendável para nossas fábricas.

As razões para se trabalhar um programa de uso racional de energia no setor são muito claras e dentre elas podemos citar:

- Há forte tendência de dificuldades futuras no suprimento de energia, mesmo das nossas admiradas biomassas energéticas, que começam a ser disputadas por outros setores (biocombustíveis, geração de calor por outras indústrias, produção de carvão vegetal siderúrgico, etc., etc.);

- Há fortes possibilidades de uma competição global mais intensa pelos recursos energéticos renováveis;

- Há tendências seguras para crescimento da participação dos custos de energia nos produtos, principalmente pelo encarecimento dos recursos energéticos;

- Há ainda fortes tendências para redução nos preços de venda de produtos de celulose e papel em função de competitividade acirrada nos mercados;

- As pressões ambientais serão cada vez mais intensas sobre a geração de gases de efeito estufa, não apenas sobre o gás carbônico fóssil, mas também sobre o metano, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, etc.

Frente a isso tudo, o percentual de participação da energia nos custos de fabricação da celulose e do papel tenderão a aumentar na composição dos itens mais expressivos da planilha de custos industriais.

Apesar de termos no setor fontes de energia muito limpas e renováveis, como o licor preto concentrado e as biomassas florestais; além de processos de geração muito eficientes como a cogeração; não podemos nos acomodar e nos dar por satisfeitos. Mesmo os energéticos limpos e renováveis podem ser otimizados em seus usos, obtendo-se assim ganhos expressivos em economias de recursos naturais e em recursos econômicos. Definitivamente, a ecoeficiência energética para nossas fábricas resultará em menores necessidades de combustíveis, sejam eles fósseis ou renováveis. São recursos naturais que podem ser economizados, ajudando a Conservação, não apenas da Energia, mas da Natureza.

Ecoeficiência energética: uma rede de resultados práticos em favor da Natureza

==========

RELAÇÕES ENERGIA / MEIO AMBIENTE

O grande debate ambiental a nível global deixou de ser a poluição industrial para se concentrar nas mudanças climáticas e nos temas relacionados ao aquecimento global. A busca de um desenvolvimento limpo, com menos uso de combustíveis fósseis passou a ser prioritária para muitos povos e inúmeros governos, causando interesse e despertando fortes emoções. As respostas ainda variam em intensidade, mas as pressões deverão crescer, sobre isso não existem dúvidas. A preocupação com os gases de efeito estufa (GHG – "Green House Gases") está sendo uma das grandes forças motrizes para mudanças tecnológicas e de comportamento de nossa sociedade. Essas mudanças serão imperiosas e deverão ser estimuladas pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Elas podem ser vistas como oportunidades ou ameaças. Isso vai depender da postura e da proatividade dos setores industriais envolvidos.

Os gases causadores do efeito estufa não são apenas os gerados na queima de combustíveis fósseis. Outros gases até mesmo muito piores que o gás carbônico da combustão podem existir em nossas fábricas, tais como o metano (resultante de decomposições anaeróbicas de resíduos orgânicos), os óxidos de nitrogênio (formados nos processos de combustão), bem como os gases de unidades de refrigeração.

Existe todo um foco hoje sobre o gás carbônico e sobre as enormes possibilidades que ele oferece quando é seqüestrado (pelas nossas florestas plantadas, por exemplo). Definitivamente, ter-se materiais renováveis como matéria-prima fibrosa e como biomassa energética, ambas originadas em nossas florestas plantadas é uma dádiva, uma benção para todos nós do setor de celulose e papel no Brasil. Essa dádiva foi conquistada com muito esforço tecnológico do setor e hoje colhemos alguns frutos, graças a ela. Entretanto, essa é uma vantagem competitiva transitória, pois outros países

também podem plantar florestas eficientes e produtivas. Fotossíntese não é um privilégio brasileiro, concordam?

Hoje, pelos dados disponibilizados em balanços globais de energia, as emissões de gás carbônico fóssil equivalente no caso do setor de celulose e papel no Brasil correspondem a cerca de 0,3 – 0,4 toneladas de CO_2 equivalente por tonelada de celulose+papel. Entretanto, esses valores não estão entre os melhores do mundo. Existem países como Suécia e Noruega, com muitas fontes de hidreletricidade, em que esses valores são bem menores (entre 0,15 a 0,2 toneladas de CO_2 equivalente por tonelada de celulose+papel). Por isso mesmo, nosso setor tem grandes oportunidades a conquistar nesse particular. A vantagem oferecida está ligada às possibilidades de comercialização de créditos de carbono, conforme alguns critérios estabelecidos pelos conceitos do MDF – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O carbono limpo é muito valorizado e oferece novas oportunidades de receitas às empresas.

As maiores fontes de gás carbônico fóssil no setor de celulose e papel são: óleo combustível (cerca de 50%), gás natural (aproximadamente 30%), óleo diesel para transporte de insumos e madeiras (cerca de 5%), e outras fontes menores (carvão mineral, gás liqüefeito de petróleo, etc.). Temos ainda a considerar que toda empresa que compra energia elétrica através abastecimento por concessionárias precisa ter conhecimento da matriz de combustíveis e de emissões de carbono fóssil, caso esteja determinada a calcular as suas pegadas de carbono ou a vender créditos de carbono. O "grid" energético no Brasil é predominantemente de hidreletricidade, mas a participação de termelétricas está aumentando gradualmente, conforme o Brasil está descobrindo mais fontes fósseis de petróleo e gás natural. Por outro lado, o potencial de hidreletricidade está-se exaurindo rapidamente e as pressões ambientais contra mega-projetos de usinas hidrelétricas são enormes por parte da sociedade organizada.

Os temas ambientais para uso da energia crescem em importância. A concessão de rótulos ambientais ao papel em diversos países europeus já englobam critérios tanto de consumos específicos de energias térmica e eletricidade, como de geração especifica de gás carbônico fóssil pelas fábricas de celulose e de papel. Com isso, novos indicadores passam a ser demandados pelos clientes do papel e da celulose, tais como:

- Toneladas de gás carbônico fóssil equivalente por tonelada de celulose ou papel;
- Toneladas de gás carbônico fóssil equivalente por GWh de energia elétrica gerada e/ou consumida.

Nossas fábricas brasileiras apresentam valores entre 0,20 a 0,5 toneladas de gás carbônico fóssil equivalente por tonelada de papel, englobando nesse valor as emissões da celulose, proporcional à participação da celulose no peso do papel. Afetam esses resultados também as fontes energéticas usadas na geração da energia elétrica, seja própria ou comprada. Não importa quem produza a celulose utilizada na fabricação do papel ou a energia que se usa nessa produção – todo o carbono fóssil precisa ser avaliado, referenciado e calculado, por isso o termo "Pegadas de Carbono ("Carbon Footprints").

Existem três outros fatores ambientais relevantes associados à fabricação de celulose e papel, e que afetam a ecoeficiência energética:

- Consumo específico de água;
- Geração de refugos na fabricação do papel;
- Geração de resíduos sólidos em todo o processo produtivo.

A água é um dos grandes venenos na atual forma de se fabricar celulose e papel. Definitivamente, o excesso de água é desastroso em termos energéticos para o setor. Uma tonelada seca ao ar de celulose na forma de fardos corresponde a um volume de menos de 2 metros cúbicos. Porém, para se fabricar isso se usam mais de 30 metros cúbicos de água, que entram na fábrica apenas para veicular as fibras em suspensões que roubam calor e demandam energia elétrica para bombeamento. Quando transferimos uma massa fibrosa de um local para outro em consistência de 3%, significa que para cada 3 unidades de peso de água, acompanham mais 97 de água. A água passeia pelas nossas instalações fabris, "evaporando" calor e distribuindo energia térmica para tubulações, paredes de tanques, etc., etc. Além disso, existem filtrados e águas servidas a bombear, não apenas massa fibrosa. Fábricas de celulose consomem cerca de 25 a 40 metros cúbicos de água por tonelada seca ao ar de celulose vendável. A manufatura de papel na fábrica não integrada de papel consome menos: cerca de 3 a 15 metros cúbicos por tonelada de papel vendável. Praticamente 30 a 50% de toda energia térmica agregada ao processo pode-se perder com os efluentes; mais os 50% de energia elétrica desperdiçada no bombeio de massas e filtrados. Já vimos isso, mas é bom reforçar para consolidar muito bem essa enorme fonte de desperdício energético.

Torna-se portanto cada vez mais vital que as tecnologias migrem para sistemas que trabalhem com consistências mais altas em todas as suas fases; desde lavagens, depurações, etapas de branqueamento, até mesmo nas caixas de entrada das máquinas de formar folhas de papel ou celulose.

O fechamento dos circuitos de água é mais um forma de desenvolver ecoeficiência energética nas fábricas de celulose e papel. Mas é preciso saber fazer essa otimização muito bem, com adequados balanços de massa e de energia. Caso isso não seja feito, é muito provável que consigamos

economizar água em um setor da fábrica e que essa água economizada vá sobrar em outros setores da mesma fábrica. Otimizar consumo de água não é apenas transferir água de uma área para outra, entendido?

Reduções de 10 a 15% de consumo de água nas fábricas impacta em ganhos ambientais e de consumo energético nas operações. Os valores econômico e ambiental vão depender de onde a economia está sendo implementada e qual tipo de água está sendo economizado. O mesmo raciocínio é válido para vapores e condensados limpos de vapor vivo, outros tipos de água de grandes valores econômicos.

Um outro fator ambiental relevante em relação à ecoeficiência energética é a geração de resíduos sólidos nas fábricas. Enormes quantidades de cinzas de caldeiras, partículas, dregs/grits, lodos, etc. se perdem em nossas fábricas. Todos levam alguma energia e alguma água com eles. Como muitas empresas não colocam especificações de qualidade para esses resíduos, em geral eles são muito ricos em águas e em temperaturas. Se alguns desses resíduos forem destinados a caldeiras para queima (exemplo: lodos orgânicos, cascas, palitos e nós da depuração, etc.) eles prejudicarão a ecoeficiência global. Ao invés de gerarem energia útil nas caldeiras, estarão isso sim consumindo energia e estragando a eficiência térmica dessas caldeiras.

Finalmente, (e eu sempre deixo esse tema para falar duramente e deixar meu recado) temos os refugos da fabricação do papel. Refugos ou aparas internas ("broke") são outros dos grandes venenos da ecoeficiência energética. Eles são na verdade uma das maiores doenças ou vícios de nossos processos de fabricação. Escrevi um capítulo todo sobre refugos do papel e sua perversidade. Se quiserem lê-lo, ficarei muito grato. Visitem:

Ecoeficiência na gestão da perda de fibras de celulose e do refugo gerado na fabricação do papel . Eucalyptus Online Book. Capítulo 06. 97 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf

Os refugos para serem reprocessados e manejados consomem enormes quantidades de energias térmica e elétrica, além de água. Imaginem que eles precisam de energia para desagregação, movimentação em fluxos internos e depois calor e energia elétrica para formar novas folhas, que em parte virar refugo de novo. Um desperdício e uma perversidade sem tamanho.

A redução da geração de refugos internos do papel contribui decisiva e significativamente para: melhorar consumo de água, de energia térmica, de energia elétrica, de poluentes orgânicos (lodos). Impacta ainda positiva e decididamente sobre produtividade e sobre a felicidade dos trabalhadores,

que acabam tendo que fazer esse grande e desmotivador serviço de retrabalho.

Baixa ecoeficiência energética não é privilégio de alguns poucos – pelo contrário, há muitos precisando de ajuda, mesmo que acreditem que ela não é necessária!

As estratégias de ecoeficiência energética precisam estar alinhadas a estratégias gerais de ecoeficiência, com as quais ganhos ambientais relevantes serão alcançados em:

- Reduções em consumos de água;
- Reduções de efluentes gerados;
- Reduções nas perdas de água;
- Reduções em geração de resíduos sólidos;
- Reduções gerais de retrabalhos, desperdícios, reprocessamentos, etc.;
- Reduções no uso de matérias-primas e insumos energéticos;
- Aumento das eficiências térmicas, rendimentos de conversão energética, e continuidade operacional;
- Aumento da utilização de calores secundários;
- Etc.

É sempre importante que se façam valorações ambientais, econômicas e sociais de todas as oportunidades que acreditemos possam resultar em vantagens energéticas. Pela intima correlação entre os fatores ambientais, energéticos e econômicos, essas valorações são vitais e devem fazer parte de qualquer atividade objetivando ecoeficiência, qualquer que seja ela.

Outros ganhos ambientais poderão ser alcançados pela ecoeficiência energética, a saber:

- Maiores facilidades para atendimento dos requisitos legais aplicados à empresa;
- Melhor desempenho global da empresa;
- Melhoria da imagem em função do reconhecimento de suas ações pela sustentabilidade e ecoeficiência;
- Mais fácil diálogo com as partes interessadas;
- Melhor qualidade de vida das comunidades interna (trabalhadores) e externa (vizinhos);
- Etc.

==========

PRINCIPAIS BARREIRAS À ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Um fato curioso e que chama a atenção é que todos nas empresas consideram que a busca da ecoeficiência energética é algo importante e que deve acontecer. Não há quem negue isso. Entretanto, não são muitos os que "mergulham prá valer" em programas de racionalização do uso da energia. Há quase sempre uma obsessão empresarial em aplicar recursos financeiros em projetos que resultem em aumento de produção e de eficiência operacional. A ecoeficiência energética deve-se dar por satisfeita se ganhos energéticos surgirem desses investimentos em produtividade e capacidade produtiva. Muitas vezes eles até que resultam importantes, pois o aumento de produção pode pedir algum tipo de investimentos em disponibilização de novas quantidades de energia e elas serem buscadas por racionalização de consumo. Portanto, em grande maioria das vezes, a ecoeficiência energética não é a força motriz das mudanças, mas é afetada positivamente por conseqüências de outros "drivers".

Há algumas razões básicas que podem ser consideradas barreiras ao processo de implementação de programas de gestão da energia. Dentre elas destacam-se:

- A cultura dos executivos não está voltada para o melhor uso da energia, mas para o menor custo da energia;
- Há grande desconhecimento dos indicadores setoriais, especialmente em termos de indicadores de performances energéticas mais vitais nas diversas áreas de produção. Algumas empresas possuem quando muito indicadores de consumos globais de energia por tonelada de produto saindo das máquinas de papel.
- Há pouca disposição para fortes mudanças tecnológicas no setor energético das fábricas existentes ("existing mills");
- Falta competência tecnológica para identificar quais as tecnologias que podem ser implementadas com sucesso, principalmente para fábricas em operação ("existing mills");
- Existem muitos vícios de operação arraigados no setor, não apenas por parte de operadores, mas de gestores também;
- Há alguma incapacidade para desenvolver eficientes estudos de viabilidade técnica, econômica, ambiental e social, de forma concomitante, inclusive valorando adequadamente todas as vertentes da ecoeficiência energética. Essa valoração é ainda mais deficiente em empresas com diversas máquinas de papel e inúmeros produtos, onde sequer são conhecidos de forma adequada os consumos específicos de energia de cada produto.
- Há pouca capacidade de investimentos nas pequenas e médias empresas, logo os itens de performance energética acabam ficando em segunda ou terceira prioridades;
- Não existem políticas energéticas em muitas empresas, com metas estratégicas claramente definidas para energia;
- Energia não é vista como prioritária, "pois a empresa tem outros problemas muito maiores a se preocupar";
- Etc.

==========

TECNOLOGIAS & TECNOLOGIAS
COMO ESTAREMOS NÓS NESSE CONTEXTO?

As alternativas para aumento da ecoeficiência energética muitas vezes esbarram na falta de domínio tecnológico e na própria incapacidade de fazer resultar a tecnologia disponível. Muitas empresas possuem ainda dificuldades enormes para fazer suas máquinas serem mais eficientes, atingindo índices de performance melhores do que os praticados em operação industrial rotineira. Outras empresas possuem um espectro de produtos variado e complexo, sendo fabricado em máquinas e setores fabris com diferentes idades tecnológicas. Com essa complexidade instalada, os sistemas de avaliação são dificultados. Mesmo os balanços térmicos e mássicos são difíceis de serem elaborados por falta de medições de fluxos, temperaturas, pressões, etc. Com isso, a criação de indicadores energéticos é ainda mais difícil.

A ecoeficiência energética para ser um programa vitorioso requer que tenhamos bons conhecimentos sobre:

- O projeto da unidade a ser otimizada, desde a concepção de engenharia do mesmo, como de seus desenhos como foi efetivamente construído ("as built");
- A forma como as diversas áreas são operadas;
- As intrínsecas interligações entre as áreas produtivas;

- As limitações energéticas e de performance de cada processo produtivo, suas restrições, gargalos, dificuldades de manutenções, peças, eficiências, etc.;
- O desempenho ambiental da fábrica e de áreas vitais da fábrica;
- O conhecimento quantitativo das principais perdas e desperdícios dos processos em termos de água, vapor, eletricidade, resíduos, refugos, rejeitos, etc.;
- Os rendimentos das fases vitais dos processos: digestor, evaporação, caldeira de recuperação, caldeira de força, máquinas de formar e secar folhas, etc.;
- Os principais consumos de energia elétrica e calor em fases vitais do processo produtivo.

Conhecidas as tecnologias disponíveis em nossa fábrica e seus níveis sustentados de performance, suas limitações, seus pontos fortes/fracos, etc. poderemos caminhar para uma fase seguinte de avaliação tecnológica que é a comparação de nossos indicadores com os obtidos pela adoção das chamadas BAT ("Best Available Technologies = Melhores Tecnologias Disponíveis"). Em geral isso exige um "benchmarking" (comparação crítica) com dados de indicadores disponibilizados por algumas entidades especializadas. Dentre elas podemos citar: IEA - International Energy Agency; EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy, do DOE – Department of Energy do governo norte-americano; CIPEC - Canadian Industry Program for Energy Conservation; PAPRICAN – Pulp and Paper Research Institute of Canada; Berkeley National Laboratory (USA); CanmetEnergy (Canadá); ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (Brasil), dentre outros. Na seção sobre referências da literatura e sugestões para leitura apresentamos para vocês os websites de diversas dessas instituições para navegação. Com isso, é possível uma atualização sobre o que vem acontecendo em outros países líderes em produção de papel e celulose em termos de ecoeficiência energética. Essas instituições publicam não apenas os indicadores de melhores performances, como também indicam o "status" tecnológico em termos de melhores tecnologias disponíveis setor a setor produtivo para nossas fábricas.

Os dados disponibilizados de consumos energéticos referenciais servem para comparar nossas fábricas não apenas com as fábricas estado-da-arte (BATs), mas também com fábricas referências ou modelo de mesma idade tecnológica (por exemplo: fábricas referenciadas como possuindo boas práticas energéticas e construídas nos anos 80's, 90's, 2000's, etc.).

Vamos ver um exemplo simples de como fazer esse tipo de comparação. No caso do forno de cal de uma fábrica de celulose kraft, os melhores valores relatados como consumo de energia térmica são de 1 a 1,2 GJ/tsa e de 0,025 a 0,030 MWh/tsa para eletricidade. Em geral, a maioria das publicações se referem a GJ/tsa para calor e em MWh/tsa. Algumas

padronizam todas as energias em GJ/tsa. (1 GJ = 0,278 MWh). Recordemos que tsa = tonelada seca ao ar, que corresponde ao equivalente a 10% de umidade)

Para a avaliação comparativa foi desenvolvido um índice denominado **IEE – Índice de Eficiência Energética**. Consiste na razão entre o valor mostrado como referência pelas entidades internacionais (para as BATs ou para fábricas referências do ano tecnológico em questão) e o valor médio efetivamente praticado na nossa fábrica.

Suponhamos que no forno de cal da fábrica que deseja o "benchmarking" o consumo de energia térmica (combustíveis do forno) seja de 1,5 GJ/tsa e o de energia elétrica 0,040 MWh/tsa. De imediato se notam valores piores que os valores referenciados, o que fornecerá valores de IEE inferiores à unidade.

IEE calor forno de cal = 1,1 GJ/tsa : 1,5 GJ/tsa = **0,73**

IEE eletricidade forno de cal = 0,0275 MWh/tsa : 0,040 MWh/tsa = **0,69**

A primeira conclusão é a de que nosso forno de cal está sendo energeticamente menos eficiente do que os fornos existentes em fábricas de melhores tecnologias de performance. Quanto mais baixo forem os valores de IEE, pior está sendo o desempenho energético da área em questão (ou da fábrica como um todo). Também indicam que existem possibilidades de ganhos energéticos, tanto maiores quanto menores forem os valores de IEE.

No caso desse forno de cal, há que se entender e interpretar os dados encontrados para pior performance. Algumas perguntas precisam ser respondidas:

- O forno estaria superdimensionado para a sua produção de cal?
- O forno estaria subdimensionado para essa produção atual de cal?
- O forno tem manutenção adequada e trabalha em boas condições operacionais?
- O forno tem idade tecnológica atrasada (por exemplo, tem secagem interna da lama ao invés de um secador do tipo LMD – "Lime Mud Dryer")?
- O forno de cal tem baixa eficiência operacional – muitas paradas e perdas devido não apenas às suas operações, mas às da fábrica toda?
- A fábrica de celulose tem baixa escala de produção (fábrica muito pequena em comparação às fábricas de melhores tecnologias)?
- Etc., etc.

Recomenda-se ainda que essas comparações sejam feitas com valores representativos da operação de cada unidade em comparação, que mostrem dados médios de pelo menos 15 dias de produção estável e sustentada da unidade em avaliação.

Quando os valores de IEE são muito baixos, menores do que 0,5; a unidade em questão está muito distante das melhores tecnologias disponíveis. Mais do que um projeto de melhoria energética por otimizações de operações, talvez seja o caso de uma mudança tecnológica imediata, se a empresa tiver condições de implementar.

No caso do forno de cal em avaliação, os valores não são tão dramáticos e indicam que é possível se otimizar algo de sua performance energética atuando em alguns itens tais como:

- Melhor atomização do combustível nas zona de combustão;
- Redução da umidade da lama na entrada do forno;
- Melhoria da relação ar de combustão/calor do combustível;
- Pré-aquecimento do combustível e do ar de combustão;
- Enriquecimento em oxigênio do ar de combustão;
- Limpezas mais freqüentes das incrustações;
- Melhoria no isolamento interno (refratários) para redução de perdas por irradiação;
- Melhoria na qualidade do "make up" de calcáreo ou cal comprada;
- Etc.

Em comparações entre países, existe uma recente avaliação feita pela IEA – International Energy Agency, em 2007, para o setor de papel e celulose (http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/tracking_emissions.pdf). Nessa comparação, o setor de papel e celulose brasileiro tem mostrado evoluções ao longo da análise dos dados históricos, mas seus dados de IEE de calor (energia térmica) são de apenas 0,83 quando os países de melhor performance estão próximos a 0,90. Portanto, existe um potencial de melhoria em energia térmica de cerca de 8,5% para nosso setor, em relação aos países melhores performantes. Já para a eletricidade, nossos valores de IEE foram ainda mais baixos (de 0,73), quando os países com melhores desempenhos tinham valores acima de 0,84. A situação energética do Brasil foi considerada similar à do Canadá. No caso brasileiro, atribuiu-se a performance energética não tão satisfatória em função da energia muito barata sendo produzida por cogeração dentro das fábricas a partir de biomassas de baixo custo. Com uma energia artificialmente barata, os estímulos para economia energética são reduzidos.

Nesse mesmo estudo existe uma avaliação da geração de gás carbônico de origem fóssil. O valor relatado para o Brasil de 0,4 toneladas de gás carbônico fóssil por tonelada de produto setorial mostra potencial de

melhoria em relação aos de países como Noruega e Sucia, com valores abaixo de 0,2.

Evidentemente, esses valores são valores brutos e com base em premissas gerais, envolvendo as amplas diversidades existentes no setor. Cabe uma análise individualizada, fábrica a fábrica, até mesmo para se avaliar em que posição de ecoeficiência energética estão operando nossas modernas fábricas estado-da-arte para produção de celulose kraft de mercado.

A título de exemplo e usando alguns dados disponíveis para uma empresa desse tipo, podemos avaliar os valores de IEE para a mesma. O consumo de energia térmica total tem sido relatado como 11 GJ/tsa e o consumo de eletricidade de 0,55 MWh/tsa. Essa fábrica teria um excedente de 0,25 MWh/tsa em termos de energia elétrica. Os valores referenciados como sendo de BATs para esse tipo de fabricação são os seguintes:

Energia térmica = 9,8 a 12,25 GJ/tsa (média de 11,02 GJ/tsa)
Energia elétrica = 0,500 a 0,65 MWh/tsa (média de 0,575 MWh/tsa)

Com esses dados é possível se calcular os IEE especificamente para essa fábrica:

IEE calor – fábrica celulose kraft = 11,02 : 11 = 1,0
IEE eletricidade – fábrica celulose kraft = 0,575 : 0,55 = 1,04

No caso de eficiência térmica a nossa fábrica exemplo está absolutamente dentro do que se recomenda para melhores tecnologias e práticas energéticas, enquanto para consumo de energia elétrica a fábrica está excedendo (operando melhor) as recomendações médias para BATs. Muito provavelmente em função de sua escala de produção e idade tecnológica. É muito forte o impacto da escala de produção sobre os consumos unitários de calor e eletricidade. Esse efeito positivo de escala ocorre também para outros insumos (produtos químicos, trabalho laboral, madeira, etc.). Uma moderna fábrica de 1,2 milhões de toneladas de capacidade anual de produção tem todos os motivos técnicos e empresarias para buscar a excelência de performance em todos os quesitos. Até mesmo porque as economias unitárias por menores que sejam se refletem em enormes ganhos anuais em função da escala produtiva. Uma fábrica com essa escala de 1,2 milhões de toneladas, tem inúmeras razões técnicas para ter índices melhores que uma fábrica com capacidade de produção de 800 mil toneladas por ano. Acontece que fábricas são operadas por pessoas e pessoas pensam e agem diferentemente. Muitas vezes, uma fábrica muito menor que outra apresenta valores melhores em seus indicadores – a isso se chama de efeito gestão. É para vocês gestores e técnicos de nossas empresas que estou escrevendo esse capítulo do Eucalyptus Online Book e não para nossas máquinas e processos, por melhores que sejam eles.

Sugiro que vocês procurem ler com atenção esses relatórios dessas diversas entidades que disponibilizam anualmente indicadores de performance energética. Busquem sempre fazer uma comparação criteriosa de suas fábricas e áreas de produção, tentando até mesmo entender como vocês estão evoluindo (ou não) e como se posicionam em relação a outras empresas do setor. Sugiro ainda muita atenção ao ler esses relatórios. Algumas entidades apresentam não apenas os valores de energia de processo, mas os valores de energia primária (aquela energia presente nos combustíveis, sem considerar as perdas de conversão). Discutiremos esses conceitos mais adiante nesse capítulo.

Seguem então em uma tabela uma consolidação dos dados energéticos de processo para fábricas de melhores práticas e tecnologias de produção:

	Calor de Processo GJ/tsa	**Energia elétrica de processo – MWh/tsa**
Fábricas de celulose kraft branqueada de fibra curta	**9,8 – 12,25**	**0,500 – 0,650**
Fábricas de papel cópia ou gráfico branco – Não integradas	**4,5 - 8**	**0,60 – 0,85**
Fábricas de papéis sanitários brancos- Não integradas	**5 - 7**	**0,85 – 1,15**
Fábricas integradas de papel kraft branco de impressão e escrita	**14 - 16**	**1,1 – 1,4**
Fábrica de papel reciclado (integrada, desde a preparação das paras)	**5 - 9**	**0,8 – 1,2**
Fábrica de polpa destintada - DIP ("Deinked Marked Pulp")	**0,5 – 1,5**	**0,4 – 0,8**

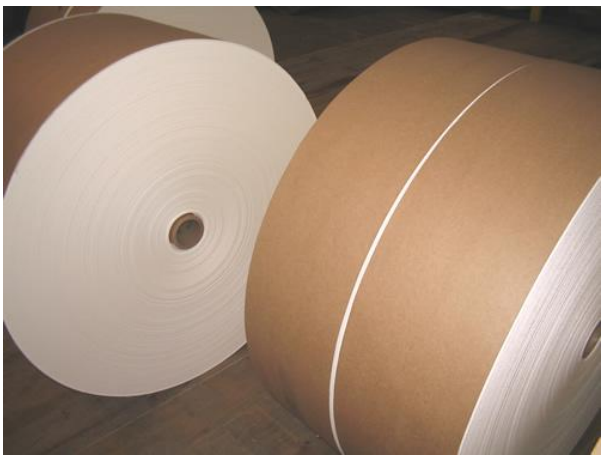
Algumas dessas instituições de fornecimento de dados para "benchmarking" também relatam relações entre os consumos de calor e eletricidade, colocando os dados todos em uma mesma unidade (Exemplo, em GJ). Teríamos então para fábricas BATs e de melhores práticas as seguintes relaçãoes:

- Fábricas de celulose kraft branqueada de fibra curta: 5,5 – 6

- Fábricas não integradas de papel branco: 2,1 – 3,3
- Fábricas de papéis sanitários brancos: 1,6 – 1,8
- Fábricas integradas de papéis brancos de impressão/escrita: 3,5 – 4

As fábricas de papel possuem consumos de eletricidade muito maiores do que as fábricas de celulose de mercado. Isso se deve a diversos fatores:

- Gramaturas mais baixas;
- Polpas refinadas;
- Maiores dificuldades para desaguamento , drenagem e secagem da folha;
- Geração de refugos de papel e reprocessamentos;
- Etc.



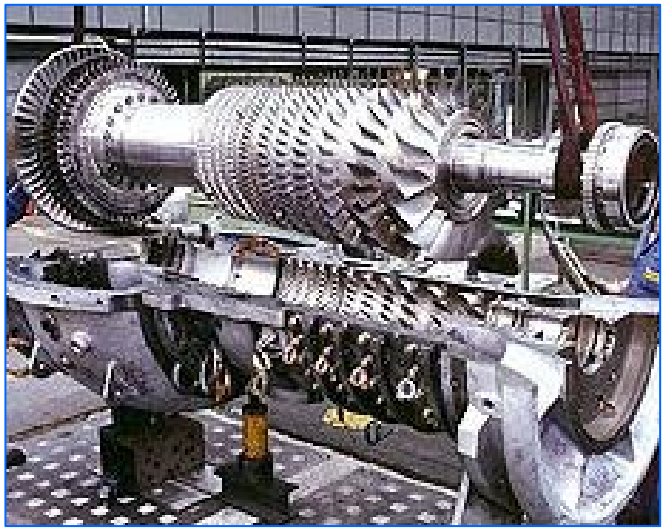
Conforme se pode observar na tabela recém apresentada, a ecoeficiência energética das fábricas integradas de papel é definitivamente melhor que a simples soma dos valores de fábricas de celulose de mercado e de fábricas de papel do mesmo tipo, mas não integradas. Estima-se que a integração ofereça ganhos de cerca de 8 a 10% no consumo de energia térmica e de cerca de 15% na energia elétrica. Evidentemente, esses ganhos vão variar em função do tipo de papel e da engenharia da integração. Apenas como registro de valores significativos que desapareceriam: a formação, secagem e embalagem das folhas de celulose de mercado consomem cerca de 20% da energia térmica total e cerca de 15 a 20% da energia elétrica total de uma fábrica de celulose kraft de mercado. Só a eliminação dessa dupla secagem já permitiria a recuperação dessa energia toda para a fabricação do papel de forma integrada. Adicionem-se a isso os ganhos oferecidos com simplificações nos circuitos de água, condensados, vapores e eletricidade, etc.

A integração também oportuniza o consumo dos excedentes de vapor e de eletricidade das fábricas de celulose de mercado. Entretanto, mesmo assim, novos balanços devem ser ajustados, pois apenas esses excedentes não garantem auto-suficiência em energia elétrica para as fábricas

integradas. Um déficit da ordem de 0,4 a 0,5 MWh/t papel deverá ser redesenhado para ser gerado ou comprado.

Para aqueles que queiram comparar consumos específicos referenciais para setores das fábricas de celulose e papel, estamos colocando mais uma tabela de dados consolidados para melhores práticas e melhores tecnologias. Os dados foram obtidos das mesmas fontes referenciadas anteriormente, sendo que se referem a valores médios para fábricas recentes, construídas há não mais de 15 anos (a partir de 1995).

	Calor de Processo GJ/tsa	Energia elétrica de processo – MWh/tsa
Preparação de madeira	-	**0,03 – 0,05**
Cozimento contínuo	**1,7 – 3,0**	**0,11 – 0,2**
Cozimento "batch"	**3,2 - 5**	**0,12 – 0,2**
Evaporação do licor	**2,7 – 4,5**	**0,02 – 0,03**
Forno de cal	**1,0 – 2,5**	**0,025 – 0,035**
Caustificação	-	**0,02 – 0,04**
Deslignificação com oxigênio	**0,4 – 0,6**	**0,06 – 0,08**
Branqueamento	**1,5 - 4**	**0,10 – 0,22**
Secagem folha celulose	**1,7 – 2,5**	**0,14 – 0,16**
Fabricação papel branco	**4,5 - 8**	**0,60 – 0,85**
Área de geração de energia (inclui rendimentos de conversão)	**4 - 5**	**0,08 – 0,10**
Tratamentos de efluentes e de água	-	**0,03 – 0,05**



DEFININDO ENERGIA PRIMÁRIA E ENERGIA DE PROCESSO

Um item muito importante que o gestor de energia em fábricas de celulose e papel precisa ficar muito atento é sobre qual base as energias que ele está se referindo estão sendo referenciadas. Em geral, os balanços energéticos nacionais são sempre monitorados e relatados em termos de energias primárias, aquelas que estão presentes nos combustíveis. Já nas fábricas, os valores de energia térmica e de eletricidade são quase sempre relatadas como energia disponibilizada ao processo. Isso significa, nas fábricas o gestor de energia está quase sempre controlando a sua "conta" de energia, ou seja, o quanto ele toma de energia da área fornecedora. Essa área pode ser a própria central de geração da fábrica, ou a energia elétrica comprada. No caso da energia elétrica comprada, o gestor da fábrica não tem o mínimo interesse em conhecer quais as origens da energia (se vem de termelétricas, ou de hidreletricidade, etc.). Ele na verdade não precisa desse tipo de conhecimento.

Por outro lado, o gestor da área de geração de energia precisa controlar suas eficiências ou rendimentos, para aferir sua competência em extrair energia térmica e elétrica dos combustíveis que utiliza. Também precisa ficar muito atento à energia primária dos combustíveis de sua matriz energética. Em resumo, nas nossas fábricas, a energia dita como energia de processo consiste na energia que a área da central de geração entrega para cada setor da fábrica. Por exemplo, a central de cogeração de qualquer fábrica de celulose de mercado tem uma determinada produção de energia térmica na forma de vapores de média e alta pressão. Esses vapores são "vendidos" para as áreas na forma de toneladas de vapor por dia. Entretanto, as contas são referidas em Gcal ou GJ de energia fornecida. Com isso, é possível se calcular os consumos específicos em GJ/tsa ou Gcal/tsa. Há quem prefira trabalhar com toneladas de vapor por tonelada de produto. Entretanto, em função de diferentes conteúdos térmicos desses vapores de diferentes pressões, é melhor se trabalhar e referenciar com base em unidades de energia. Também no caso de energia elétrica, o mesmo

acontece. A central de cogeração da fábrica cede potência a cada setor fabril. Em função do uso, a conta de energia elétrica é apresentada a cada dia e os consumos específicos podem ser calculados igualmente.

Infelizmente, não conheço casos onde o consumo apresentado mostre a eficácia no uso. Por exemplo, se uma fábrica mantém seus picadores ligados por alguns minutos sem que tora alguma seja picada, tivemos momentos em que o equipamento trabalhou sem carga. O mesmo para um refinador de celulose, para uma máquina de papel, etc. Isso acaba não sendo visualizado e fica mascarado nos consumos específicos médios diários (em alguns casos, só existem consumos específicos calculados mensalmente).

Além disso, existem perdas na transmissão e distribuição da energia, entra a área geradora e os setores consumidores. São perdas causadas pelas irradiações, fugas de vapor, aquecimento de capacitores, perdas de condensados, etc., etc. Isso tampouco sabemos em que proporções ocorrem. Podem no máximo serem estimadas.

Na verdade o que ocorre é o seguinte: cada área "apanha" a sua energia e "paga a conta" na forma de um relatório de uso de vapores de processo e de energia elétrica. Raramente se elaboram estudos de indicadores de efetivo uso dessas energias nas fábricas. Em alguns equipamentos existem "relógios de consumo", tais como nos refinadores de polpa, evaporadores de licor preto, etc. Entretanto, não é regra geral. De qualquer maneira, fica sempre a necessidade do gestor entender onde estão essas fugas e perdas de energia e tentar aferir sua competência em usar e "energia comprada".

As centrais de geração de energia nas fábricas são também grandes desperdiçadoras de energia. Isso se devem aos rendimentos nas conversões. As termelétricas que geram energia elétrica sem ser por cogeração costumam possuir rendimentos muito baixos, entre 35 a 50% na geração calculados a partir da energia primária dos combustíveis. Isso corresponde a um rendimento no usuário (consumidor final) de 28 a 45% apenas – um desastre. Mesmo os reconhecidamente eficientes sistemas de cogeração possuem rendimentos e perdas. Por exemplo, um sistema de cogeração moderno e eficiente recebe cerca de 100 GJ de calor que chega na forma de vapor superaquecido proveniente das caldeiras. Desse vapor, cerca de 62 GJ se convertem em vapores de média e baixa pressão e 33 GJ em energia elétrica. Existem perdas tanto nas turbinas como nos geradores. Existem também perdas no manuseio do vapor e da eletricidade. Essas perdas totais na cogeração variam entre 5 a 10%, dependendo das tecnologias e dimensões dos sistemas.

Também o vapor superaquecido que vem dos superaquecedores das caldeiras é obtido a um certo grau de rendimento em relação à energia original contida nas moléculas do combustível.

Vamos a seguir a mais um exemplo:

Suponhamos que estejamos em uma fábrica de celulose kraft de mercado, que possui uma caldeira de recuperação de licor bastante eficiente. Essa caldeira de recuperação tem a missão de gerar vapor superaquecido justo e certo para atender toda a demanda térmica e elétrica da fábrica. Para isso, essa caldeira queima licor concentrado a 80% de sólidos secos que é evaporado em um eficiente sistema de evaporação com 7 efeitos e um super-concentrador. A concepção da caldeira é muito moderna, com gases de combustão pré-aquecidos a 200ºC; água de alimentação pré-aquecida a 160ºC e água desmineralizada pré-aquecida a 90ºC. O economizar é definitivamente eficiente e recupera muito calor dos gases de exaustão da combustão para pré-aquecer a água de alimentação da caldeira. A quantidade de gases de combustão também está otimizada em 3.500 Nm^3/tonelada de sólidos secos, usando inclusive um certo enriquecimento dos gases de combustão com oxigênio excedente do tratamento de efluentes. Enfim, estado-da-arte tecnológico – uma alegria para os operadores e para os técnicos. Essa tecnologia toda garante 80% de eficiência térmica em relação à energia primária do licor preto. Significa que a cada 100 GJ de energia primária presente no licor preto que entra na fornalha, exatos 80 se convertem em vapor superaquecido.

Admita-se para esse caso hipotético que a relação tSS/tsa (toneladas de sólidos secos enviados à caldeira/toneladas de celulose branca seca ao ar) seja de 1,45 tSS/tsa. Admita-se ainda que o poder calorífico do licor preto a 80% de sólidos seja de 14,5 GJ/tonelada de sólidos secos (em geral esse poder calorífico varia de 13,5 a 16 GJ/tSS para as fábricas de celulose kraft de eucalipto).

Ao se referir a carga de energia com base em toneladas de celulose branca seca ao ar teremos: 14,5 GJ/tSS x 1,45 tSS/tsa = 21 GJ/tsa.

Esse licor preto ao se queimar na caldeira de recuperação perderá 20% de suas calorias e destinará 80% delas ao vapor superaquecido. Ou seja, estaremos convertendo 21 GJ/tsa de licor preto em 16,8 GJ/tsa em vapor superaquecido. Frente aos rendimentos já relatados para a cogeração, teremos que os 16,8 GJ/tsa se converterão em 10,4 GJ/tsa de energia térmica e 5,4 GJ (1,5 MWh/tsa) de energia elétrica na saída do turbo-gerador. Pode-se afirmar que o vapor (energia térmica) é justamente o que se necessita em fábricas estado-da-arte bem desenhadas e balanceadas, inclusive levando em conta as demandas e rendimentos da própria área de geração de energia, como aqui apresentados. Já no caso da energia elétrica

teremos excedentes para venda. O excedente dependerá da eficiência em usar e distribuir essa energia. Em fábricas otimizadas e de tecnologias BAT, esse excedente corresponde a 0,35 a 0,45 MWh/tsa (ou até mais). Observar que a área de geração de energia consumiu 5,2 GJ/tsa da energia primária do combustível, nesse nosso caso exemplo. Em geral, essa perda de energia primária atribuída à conversão por cogeração nas fábricas BATs corresponde a aproximadamente 22 a 27% (incluindo o rendimento da geração do vapor superaquecido nas caldeiras).

Vamos voltar agora à explicação e diferenciação entre energia primária e energia de processo, ou a energia efetivamente disponibilizada para uso na fábrica. A energia primária é a contida no combustível – a presente em nosso caso no licor preto (21 GJ/tsa ou 14,5 GJ/tss). A energia de processo será a soma da energia térmica (10,4 GJ/tsa) com o valor efetivamente usado de energia elétrica, lembrando que temos um excedente nesse nosso caso. Se a fábrica utilizar 0,65 MWh/tsa, serão 2,34 GJ/tsa de energia elétrica de efetivo uso. O restante será disponibilizado para venda.

Muitas entidades que avaliam consumos de energia preferem trabalhar com energia primária para comparações. Já os técnicos das diversas áreas das nossas fábricas estão muito mais interessados em conhecer as eficiências de suas áreas e não a eficiência de conversão de energia a partir da matriz de combustíveis. Isso é tarefa apenas dos técnicos da central de geração de energia das fábricas. Os que estão gerando energia também devem se preocupar com as perdas na transmissão, pois seus usuários finais estão nas áreas e a missão do fornecedor de energia é levar essa energia até os clientes. Perdas de transmissão e distribuição podem atingir entre 5 a 10%, dependendo da qualidade, engenharia, tecnologia e estado de conservação das linhas de vapor e energia elétrica.

Outro indicador importante a desenvolver para avaliações é a:

Taxa de conversão da energia primária, que relaciona a energia primária dos combustíveis com a energia efetivamente gerada na central de força das fábricas. Em nosso caso exemplo, a cada 21 GJ/tsa de licor preto se geravam 10,4 GJ/tsa de energia térmica e 5,4 GJ/tsa de eletricidade. Ou seja, geravam-se 15,8 GJ/tsa de energia. A relação entre 21 e 15,8 corresponde a 1,33 que seria essa taxa de conversão. Outra forma de se relatá-la seria a relação inversa entre 15,8 e 21 , que dá 0,752 (ou 75,2%).

Com base na matriz de combustíveis utilizados, em seus poderes caloríficos médios e quantidades de combustíveis e energias térmica e elétrica geradas, pode-se acompanhar de período em período a competência da área de geração de energia em converter combustíveis em energia. Isso pode ser feito através do cálculo da taxa média de conversão da energia

primária. Em geral, pode-se fazer isso a cada mês, no fechamento dos dados mensais de consumos de combustíveis e de geração de energias.

Um outro indicador que mereceria ser criado seria a **taxa de efetiva utilização da energia**. Apesar de haver uma disponibilização de energia para as diversas áreas da fábrica, nem toda dessa energia é usada, existem inúmeras perdas e desperdícios entre a geração e o uso efetivo da mesma. Finalmente, mesmo que os usuários recebam a energia (vapor ou eletricidade), não se pode garantir que eles estarão usando bem a mesma (com eficácia e eficiência). Podemos ter equipamentos trabalhando com baixa carga, alguns com baixos rendimentos, outros perdendo energia por aquecimento, etc., etc. São medições difíceis de serem feitas, mas não impossíveis. Um diagnóstico desse tipo é vital para uma boa gestão energética nas nossas fábricas.

É ainda importante conhecer que algumas entidades consideram que a energia primária do combustível deveria incluir ainda a energia gasta na extração (ou produção, no caso de energia renovável) e os usos de energia para manuseio e transporte do mesmo. As instituições de estudos do ciclo de vida de produtos se baseiam nisso. Por exemplo, toda a energia gasta na extração do petróleo, na sua industrialização, transporte e manuseio deveriam, segundo essas instituições, ser computadas no cálculo da energia primária desse energético. O mesmo para biomassas energéticas, carvão vegetal, etc.

Assim raciocinando com base no ciclo de vida, para nosso combustível licor preto, teríamos que adicionar a energia gasta na evaporação e concentração do mesmo, na digestão dos cavacos, na produção de cavacos, no transporte da madeira, no plantio da floresta, etc., etc. Com certeza, os valores ultrapassarão em muito aqueles 14.5 GJ/toneladas de sólidos secos referidos em nosso exemplo.

Sem dúvida alguma, ao se observar o uso de energia por nossa Sociedade com base no ciclo de vida de um produto, ou de um combustível, vamos descobrir nada mais do que aquilo que já sabemos muito bem: que somos grandes usuários e desperdiçadores de energia. Acontece que vamos nos surpreender com esses valores – muito maiores do que imaginamos. Talvez isso sirva para nos alertar a sermos cada vez mais eficientes no uso dos recursos naturais desse planeta. A ecoeficiência foi criada para ajudar nessa tarefa. Estamos só agora entendo mais essas relações e sobre a nossa responsabilidade com a sustentabilidade. Melhoramos bastante nas últimas décadas, mas existe ainda um longo e desafiador caminho à nossa frente para ser percorrido. Anteriormente a esses estudos, conseguíamos ver muito pouco disso tudo. Com isso, nossa postura era de acomodação e mesmo de incompreensão. Mas agora, com as Análises do Ciclo de Vida (ACV) sendo desenvolvidas para todos os produtos, com o melhor conhecimento sobre os

recursos finitos do planeta Terra, estaremos pelo menos enxergando o nosso papel nesse processo. Otimizar isso tudo é um trabalho árduo, mas podemos começar a fazer a nossa parte em nossas fábricas e em nossos lares.

==========

EFICIÊNCIAS TÉRMICAS, ELÉTRICAS E MECÂNICAS

Um dos pontos chaves nos programas de conservação de energia é a melhoria dos rendimentos e eficiências energéticas das máquinas. Acabamos de mostrar a vocês na seção anterior as grandes perdas do potencial

energético dos combustíveis. Grande parte de nossos técnicos em sua fábricas mostram muita atenção para com o funcionamento de suas máquinas, em particular com suas disponibilidades e ritmos de produção. Querem manter as mesmas funcionando o máximo possível. Para garantir continuidade operacional, acabam cometendo alguns pecados energéticos e ambientais, como os de aceitar alguns maus funcionamentos nesses quesitos somente para não parar as máquinas.

Caldeiras de recuperação e de força podem ser grandes desperdiçadoras da energia primária dos combustíveis. Como elas são os principais consumidores de combustíveis nas fábricas, quaisquer ganhos ou perdas de 1 a 2% nas eficiências de conversão da energia primária em energia de processo são críticos. Por isso, caldeiras são equipamentos vitais nas avaliações de eficiência energética das empresas do setor. Entretanto, elas não devem ser avaliadas isoladamente, mas devem ser analisadas com base em sua intrincada rede de inter-conexões. Por exemplo: a caldeira de recuperação depende fundamentalmente da seção de evaporação do licor preto. A evaporação é um sistema fornecedor e cliente da área da caldeira de recuperação. A caldeira compra licor preto e vende vapor para a seção de evaporação, dentre outros tipos de comércio que realizam essas áreas. A caldeira também se relaciona com outras áreas, como a seção de desmineralização de água, com o turbo-gerador, com a seção de caustificação do licor, etc. Essas interações afetam a performance energética, tanto da própria área da caldeira, como do conjunto fabril todo. Os fluxos que caminham de um lado para o outro nessas inter-relações podem desperdiçar calor, energia elétrica, água, etc. etc. Da mesma forma podem mudar a qualidade dos produtos intermediários como concentração do licor branco, temperatura e qualidade dos condensados de vapor vivo, qualidade dos condensados sujos da evaporação, etc.

Em geral, uma caldeira de recuperação kraft tem perdas importantes de calor, como algumas mencionadas a seguir:

- Gases quentes de combustão: entre 5 a 6% da energia primária;
- "Smelt": cerca de 4% da energia primária;
- Evaporação e aquecimento da água contida no licor: entre 5 a 10% da energia primária ;
- Perdas por radiação: entre 2 a 3% da energia primária.

Algumas dessas perdas podem ser reusadas no processo, como as altas temperaturas do "smelt" que aquecem o licor verde, embora isso acabe não significando muito ao longo do desenrolar do processo.

Observem que apenas nos quatro itens acima compusemos uma utilização de cerca de 15 a 20% de toda a energia primária do licor preto combustível. Além disso, outras perdas térmicas existem, como é o caso das causadas pelas dificuldades de trocas térmicas devido nível inadequado de

limpeza dos tubos, quer interna (lado água da caldeira) ou externa (lado fornalha).

A eficiência térmica de qualquer caldeira (de recuperação kraft ou de força queimando biomassa) passa pela análise dos seguintes itens:

- Qualidade do combustível (umidade, temperatura, poder calorífico, teor de carbono, teor de lignina, etc.);
- Atomização do combustível;
- Limpeza ou sujeira das áreas de troca térmica;
- Limpeza dos superaquecedores;
- Relação ar total/ tonelada de combustível;
- Distribuição entre os diferentes tipos de ares;
- Oxigênio residual nos gases de exaustão;
- Temperatura do ar de alimentação para a combustão;
- Temperatura da água de alimentação;

- Temperatura da água desmineralizada;
- Temperatura dos gases de exaustão;
- Temperatura e pressão do vapor superaquecido;
- Qualidade do economizador de calor;
- Uso excessivo de água ou ar para limpezas internas;
- Qualidade dos isolamentos;
- Perdas de calor, vapor, etc.;
- Regime de trabalho (ideal a plena carga e em ritmo equilibrado);
- Etc.; etc.

Com adequados projetos de engenharia e dimensionamento, eficientes procedimentos de operação e manutenção, somados ao uso de balanços térmicos e mássicos, é possível se otimizar o desempenho e se ganhar pontos importantes nos rendimentos térmicos desses equipamentos. Com isso, mais vapor superaquecido estará sendo produzido com mesmas quantidades brutas dos combustíveis.

Interessante que todos sabem disso, mas às vezes sinto até mesmo um alto grau de constrangimento ao ver a insensibilidade de alguns técnicos do setor queimando biomassas com menos de 40% de consistência ou licores com menos de 55% de sólidos secos. Em ambos os casos, usam óleo combustível para sustentação da chama na fornalha e se esquecem de trabalhar na causa raiz do problema – apenas remediam com o uso de outro combustível de melhor qualidade, uma lástima ou uma acomodação incompreensível.

As caldeiras de biomassa são também muito sensíveis a esses mesmos itens. A grande causa de desperdícios nos rendimentos térmicos desse tipo de caldeiras são: umidade e regularidade do "mix" de biomassa. Poucas unidades de geração de energia a partir de biomassa possuem pré-secagem da biomassa usando os gases quentes de exaustão das próprias caldeiras. Trata-se de algo possível e com grande agregação de qualidade térmica ao processo.

Tenho visto inúmeras fábricas, digo gestores de fábricas, muito pouco preocupados com a qualidade da biomassa combustível. Mantêm os recursos energéticos armazenados ao tempo, não se preocupam em especificar a biomassa própria ou comprada, não ajustam os períodos entre corte da

floresta e utilização da lenha na caldeira para promover uma pré-secagem natural; enfim, só se preocupam em manter a caldeira funcionando e comendo biomassa, não importando a que rendimentos térmicos.

Hoje temos novos complicadores técnicos no caminho. As empresas desenvolveram procedimentos para queima de lodos orgânicos (primários e secundários) das estações de tratamento de efluentes no "mix" de combustível, seja nas caldeiras de biomassa ou mesmo nas caldeiras de recuperação kraft. Há tecnologias para misturar o lodo biológico ao licor preto e encaminhar a mistura para a evaporação. Existem também sistemas que se baseiam na prensagem ou centrifugação do lodo, quer puro ou misturado à serragem da classificação dos cavacos. Afortunadamente, existem também sistemas para pré-secagem dos lodos, usando o calor disponível nos gases de exaustão das caldeiras. Em quaisquer desses casos, deve ficar claro que o lodo deve ser tratado como um combustível e não como um resíduo a ser descartado e aniquilado a qualquer preço. Caldeiras não são incineradores ambientais, são máquinas térmicas para gerar calor. Se elas tiverem seu escopo de trabalho aumentado, devendo também queimar lodo, então esse novo combustível deve ter especificações bem definidas e obedecidas para melhor ecoeficiência do sistema.

De uma maneira geral, além das eficiências térmicas das caldeiras, existem alguns rendimentos energéticos chaves a serem monitorados e otimizados nos processos produtivos de nossas fábricas:

- Rendimentos da cogeração;
- Rendimentos do turbo-gerador;
- Rendimentos na transmissão e distribuição de energias térmica e elétrica. Existe um ditado no setor industrial que diz que "a cada 100 unidades de energia elétrica geradas, 8 são consumidas na própria geração e 11 se perdem entre a produção e o consumidor final".
- Rendimento de motores;
- Rendimento das bombas;
- Rendimentos ou eficiências operacionais das principais máquinas consumidoras de energia (altamente relacionados à ecoeficiência energética).

A cogeração ("CHP – Combined Heat & Power") tem sido sempre referida como a grande solução tecnológica que o setor de papel e celulose encontrou para gerar energia. Inclusive, o setor tem sido referência no Brasil

pela adoção da cogeração e pela capacidade de vislumbrar a cogeração como uma opção tecnológica de altíssima ecoeficiência. A cogeração consiste na produção local e simultânea de energia térmica (vapor), energia elétrica e água quente (condensados e água de refrigeração) a partir de uma única matriz de combustíveis. Nas caldeiras de recuperação seria o licor preto, nas caldeiras de força podem ser diversos tipos de combustíveis. Entretanto, o combustível da cogeração não é o combustível que alimenta as caldeiras, mas sim o vapor superaquecido que alimenta o sistema de turbo-geração. Esse também deve ter suas especificações em pressões, temperaturas e pureza. Os rendimentos da cogeração podem ser muito variados em função da concepção tecnológica adotada e da forma como operada. As fábricas de celulose de mercado esmeram-se em comprar as melhores tecnologias de cogeração possíveis de forma a melhor balancear a oferta interna de combustíveis (licor preto e biomassas combustíveis) e o consumo de energias (vapor e eletricidade). Em geral, os rendimentos da cogeração variam entre 90 a 95%, entre a oferta de energia pelo vapor superaquecido e as quantidades de energia liberadas em: vapores de baixa e média pressão; energia elétrica e condensados.

==========

ESTRATEGIANDO PLANOS DE ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA E USO RACIONAL DE ENERGIA NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Considerações gerais

A gestão da energia merece ser considerada uma prioridade estratégica nas empresas do setor de celulose e papel. Afinal, um setor que é o terceiro na indústria a consumir energia, seja no Brasil ou nos Estados Unidos da América, deve entender que esse tema tenha muita relevância. Entretanto, já mencionamos antes e reforçamos agora: a eficiência energética fica muito melhor implementada quando se insere e se abriga em um programa mais amplo de gestão da ecoeficiência nas empresas. Ele pode perfeitamente estar integrado aos sistemas de gestão da qualidade (IS0 9001), da qualidade ambiental (IS0 14001), da segurança no trabalho (OHSAS 18001) e da ecoeficiência ou da produção mais limpa (P+L). Ainda que inserida em sistemas de gestão integrada, a ecoeficiência energética necessita de uma equipe multi-disciplinar de trabalho, ou até mesmo de uma CICE – Comissão Interna de Conservação de Energia.

Para uma boa implementação de um programa de ecoeficiência energética há necessidade de alguns condicionantes básicos e do uso de algumas ferramentas para avaliações. Não há necessidade de se criar ferramentas específicas, basta se usar as que existem para gestão da eficiência e produtividade, tais como as conhecidas Seis Sigma, Pareto, "Lean Manufacturing", etc. Entretanto, a gestão da ecoeficiência energética pode exigir algo diferente. Recomendamos se ter algum programa de modelagem ou simulação de processos químicos industriais, tais como o WinGens, Aspen Plus, ScimSci-Esscor ou ProVision Workbench. Recomendamos também que os técnicos da equipe sejam competentes o bastante para elaboração de muitos balanços térmicos e mássicos em diversas unidades de controle especialmente criadas para partes ou para o todo dos processos industriais. Há diversas áreas nas fábricas de celulose e papel que demandam esse tipo de balanços: evaporação, caldeira de recuperação, caldeira de força, forno de cal, máquina de formar e secar folhas de celulose ou de papel, digestor, branqueamento, etc. Esses balanços de energia e massa são importantíssimas ferramentas para colaborar com a boa e ecoeficiente performance de nossas operações. Só aqueles que os utilizam vão entender essa nossa insistência para que os engenheiros químicos da empresa deixem de se preocupar só com o funcionamento mecânico das máquinas e se interessem também pelos aspectos de interligação processual entre os sistemas químicos, térmicos e mássicos.

Os balanços energéticos e mássicos ajudam a identificar os grandes consumidores de energia, identificam problemas de medidores e

controladores de processo, oferecem oportunidades de avaliar nossas operações ao longo do tempo, ajudam a identificar as principais variáveis a controlar, permitem modelagens e simulações simples do processo, etc. Esses balanços são dinâmicos, estão muito distantes de serem considerados algo a se enxertar nos processos de automação e controle e se esquecer deles. A cada modificação que se faça no processo (como uma mudança na alimentação de algum fluxo, ou na adição de vapor, etc.) o balanço deve ser corrigido para se manter válido.

Os balanços ainda permitem ajudar a responder algumas perguntas básicas que nos interessa muito conhecer as respostas:

- Quais os potenciais de utilização de energia de cada setor consumidor da fábrica, identificados com base em avaliações estequeométricas e termodinâmicas?

- Quais as variáveis mais importantes que se relacionam com esses consumos?

- Como obter reduções nos consumos de energia térmica e elétrica sem causar distúrbios na própria área ou em áreas interligadas?

Outras condições fundamentais para a gestão da ecoeficiência energética são as que se seguem:

- Dispor de medições de dados que sejam confiáveis;

- Trabalhar com unidades padronizadas para energia;

- Valorar os desperdícios de energia em todas as suas vertentes, especialmente as oportunidades econômicas e ambientais que se oferecem na própria área e nas áreas inter-conectadas. Por exemplo: se estamos utilizando demasiada energia térmica em uma área da fábrica, estaremos aquecendo muito uma água de processo que, ao ser encaminhada para tratamento em outra área como efluente, vai exigir mais recursos naturais e econômicos, ficou claro? Todas as interfaces precisam ser desvendadas e valoradas.

- Avaliar alternativas de tecnologias ou metodologias para uso racional da energia. Em algumas situações temos alternativas simples de procedimentos ou de treinamento de pessoal. Em outros casos, são necessários investimentos em novas máquinas ou tecnologias que exigem cálculos de "pay-back" e retornos.

- Avaliar não apenas os consumos específicos unitários para o setor e fábrica como um todo, mas também para cada item da fábrica que exija atenção ou consuma demasiada energia (por exemplo: um motor, um refinador de massa celulósica, etc.);

- Identificar os impactos de cada consumidor relevante de energia no custo de fabricação;

- Identificar quais são as barreiras e onde elas se localizam para eliminá-las de forma que as coisas possam passar a acontecer com maior velocidade;

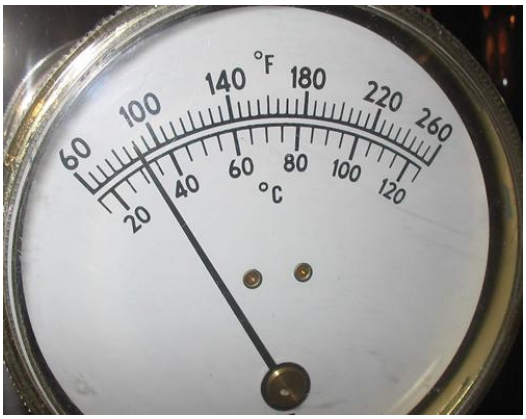
- Desenvolver na empresa uma cultura para uso racional e para valoração da energia, em todos os níveis da hierarquia;

- Estabelecer parcerias entre os operadores das diversas áreas interligadas. Algumas empresas apreciam estabelecer "contratos de performance energética" com os funcionários ou com empresas terceirizadas. Esses "contratos" são indicadores para os pagamentos de gratificações em função dos resultados alcançados. Outras empresas buscam parcerias com empresas conhecidas como ESCO ("Energy Service Company"). As empresas ESCO fazem projetos de eficiência energética e utilizam os recursos gerados com os ganhos para os pagamentos das instalações construídas e de seus projetos e serviços. Em geral, os ganhos são compartilhados entre a empresa contratante e a empresa ESCO. O cliente em geral fica completamente liberado da responsabilidade de planejamento, financiamento e do próprio estudo de viabilidade.

- Associar os indicadores de performance energética com os de eficiência operacional (continuidade operacional, ritmo de produção, uso da capacidade instalada, desclassificações de qualidade, etc.)

- Associar os indicadores de performance energética a alguns indicadores ambientais críticos, tais como: geração de efluentes na área em estudo e na fábrica como um todo; temperatura dos efluentes; perda de fibras e de calor via efluentes; geração específica de gases de efeito estufa; diferença entre o fluxo de água captada e o fluxo de efluente geral devolvido ao corpo receptor; etc.

- Desenvolver planos de monitoramento e controle para sustentação dos ganhos.



Escopo do plano estratégico energético

Qualquer programa de otimização energética deve estabelecer claramente o escopo, quais os limites do trabalho. A razão é muito simples. Trabalhar com ecoeficiência energética é como se entrar em um labirinto com muitas opções de portas para escolha. A cada opção, abrem outras opções e podemos perder o foco com facilidade. Às vezes, acabamos perdendo tempo e recursos com itens de pouca criticidade, esquecendo de avaliar a significância do que estamos fazendo. Para evitar que isso ocorra, é interessante se criar uma equipe paralela que vá cuidar apenas dos itens de fácil resolução, bem como dos aspectos sanitários e profiláticos de prevenção. Essa equipe receberá tarefas para resolver itens simples, que demandam correções de procedimentos, treinamentos ou solução de vícios de operação ou culturais.

Já os processos críticos em geral demandam muito mais avaliações, medições, simulações, elaboração de balanços, correções de fluxogramas de processo, estudos de alternativas tecnológicas, estudos econômicos e financeiros, etc., etc.

Os objetivos da gestão ecoeficiente e estratégica da energia vão muito além do que apenas minimizar os consumos específicos de calor e eletricidade. Ou de calcular os consumos de energia de cada processo. Esses passos são apenas os passos iniciais. Essa gestão visa associar energia com o desempenho global da empresa, tanto nos seus indicadores operacionais, como ambientais e sociais. Mais do que controlar consumos e custos de energia, a gestão energética tem ainda a missão de desenvolver cultura para a ecoeficiência, estratégias eficazes para alcançar novos patamares energéticos, ambientais e de performance industrial e ferramentas para sustentação dos ganhos.

Através dessa gestão, procura-se clarificar muito bem o papel de cada setor consumidor de energia na fábrica. Também envolve a análise de equipamentos e processos críticos, permitindo assim otimizar performances e simplificar processos e operações. Dentre essas simplificações podemos citar: eliminação de estocagem exagerada de massa, de madeira, de produtos prontos, etc.; redução ou eliminação de recirculações desnecessárias; etc.

Os balanços de calor e eletricidade necessitam análise e otimização. Lembrar sempre que as já comentadas Leis da Conservação de Massa e Energia e as Leis da Termodinâmica afirmam que a energia não desaparece, apenas se transforma e que a cada transformação perde qualidade ou rendimento. Portanto, temos que evitar essas perdas, encontrando as causas raízes e atuando sobre elas.

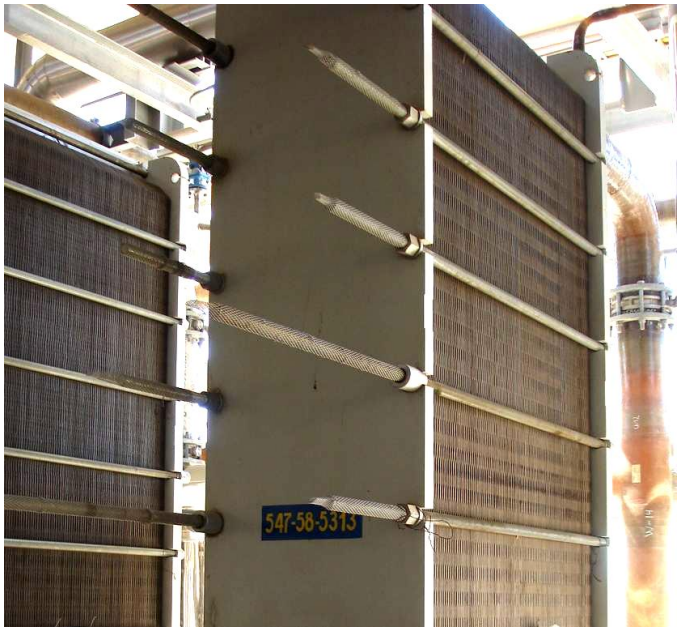
Vou lhes dar um exemplo muito simples sobre isso: seja um fluxo de efluente da fábrica de papel que mostra elevada temperatura (acima de 90ºC). O gestor técnico da área se encanta com a possibilidade de recuperar esse calor e projeta um trocador de calor para aquecer a água para lavagem dos feltros. Essa utilização de calor perdido é desejável, mas antes de se criar um uso para ele, deve-se entender as razões para esse calor estar existindo. A busca da origem do problema nessa fábrica de papel pode perfeitamente mostrar que os condensados de vapor vivo da máquina de papel estão sendo descarregados no efluente, ao invés de retornarem à caldeira de geração de vapor.

Fica aqui uma recomendação importante para a gestão da energia: a cada perda de calor ou desperdício de eletricidade encontrados, procure conhecer a sua origem, as causas primárias para isso estar acontecendo. Aí sim, poderemos encontrar soluções mais ecoeficientes. Devemos evitar ficar tentando encontrar formas de usar as energias de pior qualidade que disponibilizamos na fábrica. Muito melhor resolver o problema na raiz, evitando o desperdício da energia mais nobre, não seria o lógico?

Esse tipo de exemplo recém citado se associa muito bem a um tipo de avaliação energética conhecida como "Pinch Analysis", ou "Análise do Apertão". A análise "Pinch" é uma metodologia para minimização de consumo de energia em processos químicos através de enunciação de metas de consumo definidas com base em avaliações termodinâmicas balanceadas e integradas. A partir daí, essas metas de consumo são buscadas através da otimização rigorosa do processo, "apertando" onde possível para resgatar alguma energia perdida e que

possa se integrar ao processo de otimização. A análise "Pinch" busca integração de processos, tentando recuperar calores disponibilizados por outras áreas ou que estejam "sobrando". Atua também sobre as principais variáveis do processo para otimizá-lo.

Em princípio, a análise "Pinch" se baseia no conceito de que qualquer processo necessita de energia e que essa energia será provida a ele e a maior parte será utilizada. Entretanto, sobrará sempre alguma energia, quer seja por desperdício, ou pelo mau desenho do processo. Qualquer outro processo poderá então usar essa energia, se não for encontrada maneira econômica de solucionar o mau uso no processo em questão. Através dessa análise são avaliados os fluxos de massa e de energia, as perdas e eficiências de processos interligados, etc. A meta é otimizar e achar uso para as sobras. A integração é então buscada conjuntamente à otimização. Além de buscar adequar o consumo aos valores termodinâmicos calculados pelos balanços, avalia também a qualidade da energia que sobra e o potencial de uso dessa energia em outros processos. O exemplo clássico disso é a perda inevitável de calor que ocorre nos efluentes cada vez mais quentes da branqueamento da celulose. Com a utilização de trocadores de calor, esse calor que iria ao efluente bruto, prejudicando-o, pode ser direcionada para aquecimento de águas, como a própria água industrial usada no setor ou em um setor vizinho.



Trocador de calor para filtrados do branqueamento

Diagnóstico e auditoria energética

A auditoria ambiental permite se diagnosticar o status energético da nossa fábrica. Auditorias podem ser realizadas pela própria equipe interna da fábrica como por empresas de terceira parte. Há inúmeras empresas no setor capazes de realizar excelentes auditorias e diagnósticos energéticos, principalmente aquelas que possuem adequados e atuais bancos de dados setoriais para "benchmarking".

As auditorias requerem também alguns pré-requisitos básicos, tais como:

- Delimitação dos limites da auditoria (o que deve ser auditado);
- Seleção de um período de operação representativo para as avaliações, sendo ideal no mínimo 10 a 15 dias de operações regulares do setor a ser avaliado;
- Composição de uma equipe de auditoria qualificada, que tenha profundos conhecimentos técnicos sobre ecoeficiência energética no setor e no tipo de fabricação em questão;
- Imparcialidade nas avaliações;
- Forte comprometimento da equipe da casa em "não esconder dados", pois não se trata de uma "caça às bruxas";
- Obtenção de dados qualitativos e quantitativos confiáveis;
- Estabelecimento de fluxogramas setoriais, incluindo fluxos e características do vapor e energia elétrica
- Estabelecimento de balanços térmicos e mássicos e de consumos unitários de energia;
- Avaliações de cargas e consumos, bem como de ritmos e estabilidade/variabilidade de consumos de energia;
- Estabelecimento de comparações com casos referenciais para o setor e também em relação aos próprios dados de projeto da fábrica em questão. O "benchmarking" deve ser feito com dados referenciais externos e com os dados internos de melhores performances históricas.
- Realização de avaliações de consumos unitários de vapor e eletricidade por área, por tipo de produto (final ou intermediário), sempre levando em conta os balanços setoriais elaborados;
- Aferição dos balanços através comparações de dados atuais e dados calculados pelas simulações;
- Comparação dos procedimentos operacionais com os recomendados pelos guias de melhores práticas setoriais;
- Etc.

Para os estudos, avaliações e balanços, muito cuidado com a qualidade de dados de fluxos, consistências, temperaturas, umidades de combustíveis, pressões, etc.

Torres de refrigeração de água quente industrial

"Benchmarking"

Já lhes contei diversas vezes sobre a importância vital do "benchmarking". Essa ferramenta nos ajuda a definir a nossa posição e nos dá coordenadas energéticas em relação às melhores práticas e tecnologias no setor. "Benchmarkings" energéticos são em geral realizados por órgãos públicos, associações de classe, organizações industriais, consultorias especializadas e empresas de engenharia setorial. A ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel possui um excelente trabalho de "benchmarking" energético e ambiental, desenvolvendo indicadores que são comparados entre diversas fábricas do setor. Além disso, possui outros tipos de indicadores, alguns de cunho social e outros de eficiência de operações de máquinas do setor (por exemplo: máquinas de papel).

Essas comparações podem ser feitas comparando dados de fábricas em operação de diferentes idades tecnológicas com fábricas modelo referenciadas tanto para mesma idade tecnológica, como para fábricas estado-da-arte.

O "benchmarking" não é válido apenas para comparações com outras fábricas e outros países. É uma ferramenta útil para comparar dados atuais com dados históricos da própria fábrica ou setor, buscando seus períodos de melhor performance. Permite assim entender tendências, razões para mudanças de patamares, etc.

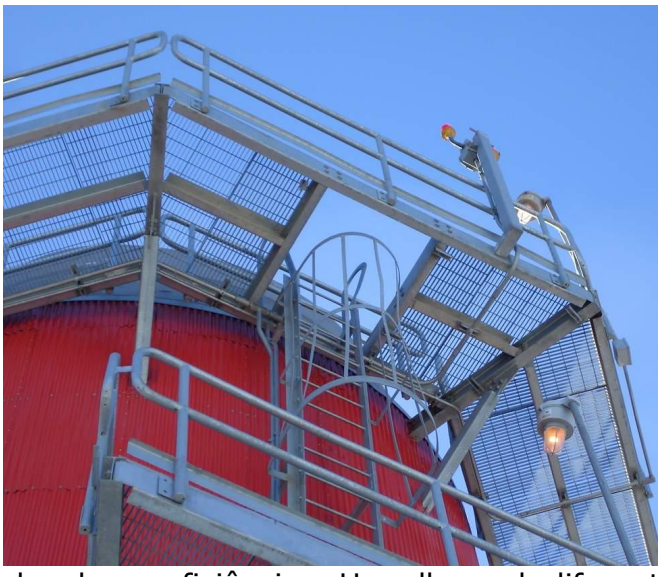
A linha base de qualquer estudo de "benchmarking" deve sempre ser estabelecida com base na capacidade do processo em estudo. Não adiante se

criar metas que dificilmente o processo em questão tenha condições de alcançar. Também o programa de melhoria deve ser passo-a-passo, é muito difícil sair de uma posição A para outra B, muito melhor, em pouco tempo. Se identificarmos que nossa concorrência está muito melhor que nós, temos que desenvolver estratégias não apenas de melhorias contínuas, mas inclusive de modernizações tecnológicas e aumento de escala de produção.

Durante as comparações de dados, é muito importante se entender as razões para nosso posicionamento em cada fator analisado. Ainda que nossa posição seja excepcionalmente boa, há que se entender o porquê disso.

Fazer um eficiente "benchmarking" não significa apenas comparar números. Temos que obter informações sobre como nosso processo está sendo operado, seu status tecnológico, indicadores a trabalhar e definir metas de melhoria. O "benchmarking" também ajuda no desenvolvimento de melhores práticas operacionais para cada uma das áreas sendo avaliadas. Uma cuidadosa análise merece ser feita, levando em conta conceitos tecnológicos, práticas operacionais, matriz energética, qualidade dos combustíveis, sistemas de distribuição e consumo, eficiências e rendimentos, etc.

Identificação de oportunidades



Oportunidades de ecoeficiência – Um olhar sob diferentes ângulos

Conforme a cultura empresarial para ecoeficiência e idade tecnológica da fábrica, as oportunidades para conservação e eficiência energética podem surgir às centenas. As fábricas mais antigas, que cresceram por etapas e adequações, são as que oferecem maiores oportunidades em número de opções. Já fábricas modernas e estado-da-arte podem oferecer menos

opções, mas de altíssimo valor em função da enormes escalas de produção. As modernas fábricas de celulose de mercado brasileiras são de engenharia e desenhos muito eficientes, mas o desenho do projeto não é uma indicação de que ela será ecoeficiente em suas operações. Sempre teremos o fator humano envolvido, além de falhas conceituais ou possibilidades de otimização em relação ao projeto básico. As auditorias são também importantes nessas fábricas modernas. Em primeiro lugar, verificando a performance em relação ao projeto original, depois em relação a outras fábricas similares operando no mundo.

Muitas vezes, os fornecedores de tecnologias e equipamentos são algo conservadores na definição das especificações técnicas dos seus projetos. Por isso, se um fabricante de máquina de papel especifica consumos unitários de 0,5 MWh de eletricidade/tonelada de papel; ou 5 m³ de água / tonelada de papel; ou ainda 5 GJ de vapor por tonelada de papel, ele pode estar sendo muito conservador para fugir de multas contratuais. Os resultados práticos podem acabar sendo muito melhores que os projetados. Com isso a ecoeficiência global da fábrica é prejudicada, pois o comprador da máquina de papel dimensionará sua produção de utilidades (água, vapor, eletricidade) em quantidades maiores do que vai efetivamente consumir.

As oportunidades tecnológicas para ecoeficiência energética podem ser buscadas área a área nas fábricas e os principais setores as serem estudados e avaliados são os seguintes: preparação dos cavacos de madeira, cozimento kraft, depuração e lavagem, deslignificação com oxigênio, branqueamento, evaporação do licor preto, caldeira de recuperação, caldeiras de força, turbo-gerador, caustificação, forno de cal, plantas químicas, tratamento de água e efluentes, máquina de formar e secar folhas (papel ou celulose), refinação da polpa, etc.

Essas oportunidades de ecoeficiência energética podem ser encontradas na avaliação de performance de equipamentos, procedimentos, desempenho operacional, ritmos de produção, tipos de produtos, indicadores operacionais, etc.

Por exemplo; em uma máquina de fabricar papel, as oportunidades podem ser encontradas em:

- Equipamentos de trocas térmicas (trocadores de calor, cilindros secadores, sistemas de aquecimento, etc.);
- Equipamentos para transporte de material (esteiras, tubulações para bombeamento, etc.);
- Bombas;
- Ventiladores e sopradores;
- Tanques de armazenamento de massa, filtrados, etc.;
- Isolamentos diversos;

- Variadores de velocidade;
- Motores;
- Iluminação interna e externa;
- Sistemas de vácuo e condensados;
- Sistemas de ar comprimido;
- Ferramentas pneumáticas;
- Feltros e telas (vestimentas);
- Sistemas de aquecimento e refrigeração;
- Prensas úmidas;
- Sistemas de ar nas capotas;
- Prensas de colagem superficial;
- Cozinha de preparação de químicos;
- Calandras;
- Rebobinadeiras;
- Cortadeiras;
- Etc., etc.

Dentre as principais variáveis operacionais, as oportunidades nas fábricas de papel não integradas costumam estar em:

- Geração excessiva de refugos de papel (aparas internas ou "broke");
- Perda de fibras;
- Uso excessivo de água, ar comprimido, gás natural para secador infravermelho, etc.;
- Eficiência no desaguamento e na prensagem da folha úmida;
- Nível de limpeza de feltros, telas, caixas de vácuo, tinas, tanques, cilindros de troca de calor ;
- Purgas e drenagens;
- Fugas diversas (vapor, condensados, vácuo, ar comprimido, água quente, água fria, etc.);
- Excessiva geração de lodos e efluentes;
- Etc., etc.

As principais perdas térmicas em uma máquina de papel são devidas aos seguintes fatores:

- Incapacidade tecnológica ou operacional no desaguamento da folha antes da bateria de secadores;
- Má qualidade ou acondicionamento das vestimentas da máquina (telas e feltros);
- Inadequações nas capotas da bateria de secadores;
- Aquecimento inadequado do ar frio e seco a ser insuflado às capotas para receber vapor liberado na secagem da folha úmida;

- Purga inadequada do condensado dos cilindros secadores, favorecendo perda de troca térmica devido afogamento do cilindro ou formação de filme espesso de água nas paredes internas dos cilindros;
- Uso excessivo de água, ar comprimido, ar de insuflamento às capotas, etc.;
- Drenagem de condensados, águas de lavagem, águas das câmaras de vácuo, águas de "boil-outs", etc.;
- Excesso de umidade da folha após prensa de colagem superficial;
- Excesso de secagem do papel;
- Consistências de trabalho fora das especificações de ótimo (refinação da massa, depuradores hidrociclônicos, massas a serem bombeadas e estocadas, alimentação da mesa plana ou consistência no lábio ou na caixa de entrada, etc.)
- Etc., etc.

Amigos, essas listagens de oportunidades não pretendem ser exaustivas, nesse momento. Elas apenas têm como missão mostrar a vocês que as rotinas operacionais do nosso dia-a-dia fabril definitivamente impactam no consumo de energia. Já vimos que para tudo que se faz na Natureza há dispêndio de energia. Logo, nada mais normal que tudo aquilo que fazemos nas fábricas durante nosso trabalho rotineiro também afetem o consumo de energia.

Efluentes – grandes carregadores de calor para fora das fábricas

Classificação das oportunidades encontradas

As oportunidades de ecoeficiência energética podem ser segregadas em grupos afins por área fabril e por afinidade. Os principais grupos são os seguintes:

- Alterações de procedimentos no processo;
- Alterações tecnológicas no processo;
- Integração de calor;
- Matriz de combustíveis;
- Geração de energia;
- Rendimentos e eficiências;
- Utilização racional de água;
- Perdas e desperdícios;
- Medidas profiláticas ou sanitárias.

As medidas profiláticas dizem respeito à solução de coisas comuns e essenciais para todas as áreas, tais como: limpeza, cultura de desperdícios de insumos, estocagens exageradas, transporte excessivo, iluminação inadequada, equipamentos operando sem carga, manutenção e conservação de equipamentos, fugas e perdas em gaxetas, furos em tubulações, fugas em flanges, etc.

Valoração de cada oportunidade de ecoeficiência energética encontrada

Cada uma das oportunidades selecionadas mostrará alternativas técnicas para melhoria do processo e para uso mais racional da energia. Cada alternativa precisa ser avaliada quanto à sua viabilidade técnica, econômica, ambiental e social. A valoração busca identificar resultados qualitativos e quantitativos em termos de: redução do consumo de energia;

aumento de produtividade; aumento de margens de contribuição; redução de custos de insumos como água, combustíveis, produtos químicos, etc.; aumento da eficiência nas operações; redução de efluentes, resíduos sólidos e emissões aéreas; etc. Também é importante se avaliar o impacto das alternativas escolhidas sobre a qualidade de vida das comunidades interna e externa à fábrica, segurança no trabalho, geração ou redução de empregos, etc. Finalmente, a avaliação de cada alternativa exigirá uma análise econômica de demandas de recursos financeiros e resultados com a implementação (taxas de retorno e "pay-backs").

"Ranking" das oportunidades para tomada de decisão

Cada oportunidade terá alternativas técnicas para solução e racionalização energética. Ela será então caracterizada por:

- Um valor de economia de energia (em valores de GJ de calor ou MWh de eletricidade por um período de tempo ou base consumo unitário pelo produto);
- Um valor econômico em função de reduções ou aumentos globais que vierem a ser notados para a empresa;
- Um valor ambiental pelos possíveis ganhos em termos ambientais sobre água, solo, ar, clima, etc.;
- Um valor social, em função de seus impactos positivos ou negativos sobre pessoas.

Dessa forma, fica muito mais fácil para a seleção pelos gestores do que pode ou deve ser implementado. As oportunidades a serem avaliadas podem ser classificadas quanto à sua relevância:

- Em economia de energia;
- Em redução de custos de produção;
- Em aumento da eficiência operacional;
- Em função dos investimentos requeridos;
- Pela atratividade financeira (taxas de retorno, etc.);
- Em função das metas de sustentabilidade da empresa;
- Por exigências e demandas legais;
- Etc.

A partir da seleção das oportunidades a implementar, pode-se iniciar a busca de recursos financeiros, que podem ser inclusive receitas novas pela comercialização de créditos de carbono.

Definição de um plano de monitoramento e sustentação dos ganhos

É a finalização do processo, que não acaba quando a alternativa técnica é implementada, mas quando ela se mostra efetivamente viabilizada e com sustentabilidade pelo menos até que outra alternativa melhor seja encontrada.

Papel – uma fabricação que exige sempre atenção aos consumos energéticos

==========

ENCONTRANDO OPORTUNIDADES TÉCNICAS PARA ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NOSSAS FÁBRICAS

De uma maneira geral, uma das maneiras mais simples de se ganhar bastante ecoeficiência energética é através do salto tecnológico, pela modernização das instalações industriais. As tecnologias vão sendo redesenhadas e inovadas, incorporando novos conceitos para minimização de uso de insumos e redução de perdas, dentre elas as de energia. Hoje, encontramos na literatura mundial uma grande quantidade de referências sobre as melhores práticas e as melhores tecnologias para a fabricação de celulose e papel. Existe um relativo consenso sobre o que uma empresa desse setor precisa ter para que a fabricação mostre baixos consumos específicos em relação a calor e eletricidade. Já vimos que diversas entidades nacionais e internacionais se preocupam em descortinar isso para as partes

interessadas. Dentre esses "stakeholders" importantes destacam-se: bancos de financiamento, órgãos legisladores e fiscalizadores de impactos ambientais e meio ambiente, organizações ambientalistas, associações de classe, técnicos do setor, consultores, etc.

Destacaríamos ainda o papel que entidades nacionais e internacionais colocam sobre a avaliação das melhores tecnologias e indicadores de performance energética. Dentre elas, merecem todo nosso reconhecimento algumas que possuem excelentes trabalhos em eficiência energética para o setor de papel e celulose: IEA - International Energy Agency; EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy, do DOE – Department of Energy do governo norte-americano; CIPEC - Canadian Industry Program for Energy Conservation; PAPRICAN – Pulp and Paper Research Institute of Canada; Berkeley National Laboratory (USA); CanmetEnergy (Canadá); ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (Brasil); CNI – Confederação Nacional da Indústria (Brasil); IPPC - European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau; IFC – International Finance Corporation; UNEP – United Nations Environment Programme; UNIDO – United Nations Industrial Development Organization; WBCSD – World Business Council for Sustainable Development; USEPA – Environmental Protection Agency norte-americana, e tantas outras mais. Algumas das recomendações gerais que essas entidades colocam são resumidamente as seguintes:

- Ter cultura efetiva para ecoeficiências e eficiência energética, bem como para eficiência operacional das unidades produtivas;
- Ter gestão capacitada para valorar os temas energéticos de forma tão importante como os temas de competitividade da empresa;
- Ter eficiente controle ambiental;
- Ter eficiente manutenção das máquinas;
- Ter adequado dimensionamento das unidades industriais e eficiente uso da capacidade instalada das mesmas;
- Ter equipamentos trabalhando sob plena carga, para as quais foram dimensionadas para máximas eficiências;
- Ter pessoal técnico qualificado, treinado e comprometido.

Uma grande série de sugestões de como ser mais eficiente energeticamente podem ser coletadas a partir dos muitos relatórios disponibilizados por essas e outras entidades. Procuraremos separar as mesmas por áreas de fabricação, mas não conseguiremos fugir do fato que a

enunciação das mesmas pode causar um certo sentimento de aleatoriedade ou desorganização. Entretanto, nosso propósito agora é apenas o de mostrar onde estão as oportunidades e os temas mais relevantes que devem ser trabalhados em ecoeficiência energética em nosso setor, conforme um grande número de organizações especializadas e a opinião de centenas de autores de artigos que lemos para lhes escrever esse capítulo. Também lhes trago em muitas delas o meu agregado de 40 anos de experiência no setor, e os 12 anos implementando programas de ecoeficiência e produção mais limpa no setor.

Vamos lá, então para essa longa lista de oportunidades:

Área de geração de energia (caldeiras de recuperação kraft, caldeiras de força, turbo-geradores)

- Repotencialização de hidrelétricas, muito presentes em fábricas mais antigas do setor;

- Utilização de caldeiras de recuperação com rendimentos térmicos acima de 75%;

- Utilização de licores preto concentrados a altos teores de sólidos secos (cerca de 75 a 80% de concentração antes da adição de cinzas dos precipitadores eletrostáticos);

- Redução da proporção de cinzas recirculadas na caldeira de recuperação, pela extração ecoeficiente da mesma, desenvolvendo usos alternativos para elas quando se tornarem ricas em potássio e cloretos (Exemplo: fertilizantes);

- Utilização de caldeiras de força (biomassa, carvão mineral, gás natural, etc.) com rendimentos térmicos acima de 85%;

- Utilização de caldeiras de leito fluidizado para as biomassas energéticas;

- Utilização de biomassa combustível com altos teores de sólidos secos (acima de 70%);

- Pré-secagem da biomassa combustível usando calor secundário;

- Geração simultânea de calor e eletricidade em sistemas eficientes de cogeração;

- Utilização de turbo-geradores com altas eficiências de conversão de energia;

- Redução da pressão do vapor de média pressão dos atuais 12 bar para 9 bar, o que favorece a maior produção de energia elétrica, especialmente válido para o caso de fábricas integradas de papel/celulose;

- Utilização de altas temperaturas na água de alimentação das caldeiras, mudando dos atuais 115 – 130°C para cerca de 160ºC;

- Utilização de mais altas temperaturas para todos os ares de combustão (primário, secundário e terciário) saltando dos atuais 150°C para valores acima de 200ºC;

- Utilização de mais altas temperaturas para a água desmineralizada, saltando dos atuais 40 a 60ºC °C para valores entre 60 a 100ºC;

- Utilização de altas pressões e temperaturas no vapor superaquecido (tecnologia atual já permite 105 bar e 505 °C, mas também existem bons resultados com 90 bar/490 °C e até mesmo com 80 bar /480ºC);

- Utilização de economizadores de calor com maiores capacidade e eficiência para melhorar a troca e recuperação de calor dos gases de exaustão da combustão;

- Utilização de queimadores e aspersores com maior capacidade de atomização do combustível e sustentação da chama na fornalha das caldeiras;

- Maximização do aproveitamento do calor atualmente perdido com os gases de exaustão das caldeiras;

- Aumento geral da taxa de retorno de condensados de vapor vivo;

- Instalação de acumuladores de vapor para melhorar a disponibilidade operacional das caldeiras, reduzindo riscos de apagão causados por instabilidades associadas a demandas variadas de vapor, em especial em fábricas com digestão "batch";

- Melhoria nos sistemas de sopradores de fuligem e removedores de incrustações minerais (pedras) nas caldeiras, resultando em melhores trocas térmicas, especialmente válido para caldeiras de recuperação do licor kraft;

- Queima em caldeiras de gases não condensáveis e combustíveis recuperados (metanol, terebintina, "tall oil", etc.);

- Utilização de controladores sensíveis e eficientes para controle do excesso de gás de combustão;

- Enriquecimento com oxigênio dos gases de combustão em sistemas de combustão;

- Otimização da sulfididade do licor kraft, não apenas sob os conceitos ambientais e de facilidades de digestão, mas também energéticos;

- Minimização dos gases de efeito estufa (GEE) pela seleção ecoeficiente dos combustíveis;

- Definições e especificações da matriz energética ótima para as operações;

- Desenvolvimento de procedimentos para "mix" estável de combustíveis, procurando composições estáveis e de melhor eficiência de combustão e rendimentos térmicos;

- Otimização da queima de resíduos sólidos (lodos, cascas úmidas, etc.) em sistemas de combustão (caldeiras de recuperação e/ou de força);

- Desenvolvimento de especificações de qualidade para os resíduos sólidos encaminhados para queima.

Área de evaporação do licor preto kraft

- Aumento da temperatura do licor preto fraco para valores acima de 110/115 °C;
- Elevação da concentração do licor preto fraco para valores próximos a 20%;
- Utilização de sistemas de evaporação de licor com pelo menos 6 ou idealmente 7 efeitos, com super-concentrador e "stripping" de condensados;
- Maximização do reuso interno na fábrica de condensados da evaporação.

Área de caustificação e forno de cal

- Pré-secagem da lama de cal em secador externo tipo "flash dryer" (LMD – "Lime Mud Dryer");
- Aquecimento de todas as águas utilizadas na caustificação com uso de calor secundário e fechamento de todo circuito de água (zero efluentes) na área em questão;

- Gaseificação do licor preto e/ou de resíduos de biomassa para substituição do combustível fóssil do forno de cal;
- Recuperação do calor liberado na caustificação do licor verde e no apagamento da cal queimada.

Área preparação dos cavacos

- Descascamento a seco das toras de madeira;
- Pré-aquecimento dos cavacos com gases de exaustão;
- Pré-molhagem dos cavacos com filtrados alcalinos do branqueamento;
- Minimização das perdas de cavacos desclassificados por dimensões.

Linha de fibras (Cozimento, Depuração, Lavagem e Branqueamento)

- Redução da relação licor/madeira e aumento das consistência de processo de forma geral na linha de fibras (ideal acima de 12%, inclusive para transportes de massa por esteiras e não mais por bombeamento);

- Recuperação de todo vapor secundário liberado na área nas expansões e descargas;

- Eliminação do uso de vapor vivo para aquecimentos, sempre utilizando vapores recuperados de ciclones de expansão, descargas e expansões de vapor, etc.;

- Utilização de digestores contínuos de altas eficiências energéticas (Exemplos: "Compact Cooking" e "Lo-Solids");

- Minimização do número de estágios no branqueamento da celulose (máximo de 4 estágios para polpa kraft de eucalipto);

- Encontrar maneiras de eliminação dos ácidos hexenurônicos previamente ao branqueamento e sem a necessidade de altos aquecimentos (pré-extração de hemiceluloses, processos biológicos, enzimas, etc.);

- Utilização de fluxos de filtrados em contra-corrente em toda a linha de fibras;

- Recuperação do calor dos filtrados muito quentes do branqueamento de polpa kraft de eucalipto;

- Lavagem com prensas lavadoras para máxima eficiência em remoção de filtrados e "carry-overs";

- Utilização de depuradores de rejeitos e hidrociclones com mais altas consistências de trabalho;

- Fechamento dos circuitos de água e redução do consumo total de água na linha de fibras para não mais que 5 a 7 m³ de efluentes/tsa.

Preparação da massa na fabricação do papel

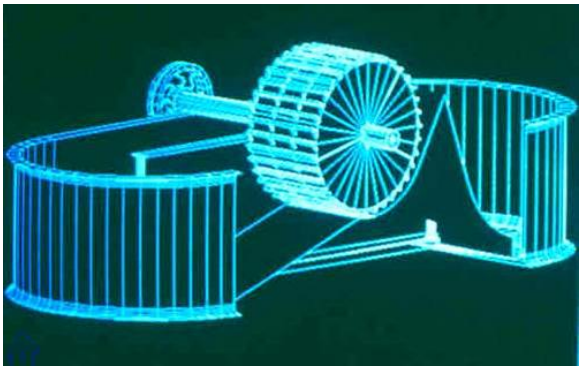
- Utilização de agitadores e desagregadores de massa de alta eficiência energética;

- Aumento da consistência em todas as fases de preparação de massa;

- Dimensionamento adequado dos refinadores de polpa para evitar sub ou sobre utilização em relação às cargas e capacidades hidráulicas;

- Utilização de refinadores do tipo "best-of-the-class" para polpas de eucaliptos, em geral com ultra-baixos valores de intensidade de refino (menores que 0,2 a 0,3 Ws/m);

- Utilização de refinadores de alta consistência para fibras longas em preparação de massa para papéis de embalagens.



Máquina de formar e secar a folha de papel

- Redução ao máximo da geração de refugo ("broke"), tanto por treinamento e conscientização dos técnicos e operadores, como também por saltos tecnológicos;

- Redução das perdas de fibras e de água branca quente e rica em insumos;

- Utilização de máquinas de telas duplas na fabricação do papel;

- Maximização da consistência da folha após a mesa plana, após a prensagem úmida e após a prensa de colagem. Há uma regra no setor de celulose e papel que diz o seguinte: "a cada 1% de aumento da consistência da folha que entra na bateria de secadores, reduzem-se em 4% as necessidades de calor/vapor para secagem". Devido a isso, muitas fábricas operam suas máquinas abaixo da capacidade que teriam potencial, com seus técnicos acreditando que falta vapor ou faltam cilindros na área de secagem da folha. Na verdade, o que lhes sobra é água como umidade alta na folha a secar.

- Utilização de prensas úmidas de nip estendido (prensas tipo sapata, "shoe press", ou "long-nip");

- Fechamento dos circuitos de vapor e condensado (recuperação integral das sobras de vapor e dos condensados de vapor vivo dos cilindros secadores);

- Extração eficiente dos condensados formados no interior dos cilindros secadores para evitar formação de filme isolante de água e afogamento do cilindro. Valorizar a adoção de sifões de alta eficiência e segurança de performance;

- Fechamento hermético da capota da máquina de secar a folha;

- Dimensionamento adequado dos grupos térmicos da máquina de papel;

- Definição da curva adequada em termos de perfil de temperaturas dos cilindros para melhor eficiência de secagem e mínimo consumo de vapor (por tipo de produto);

- Adequada remoção do ar quente e úmido de dentro dos bolsões de ar entre cilindros secadores. O mesmo é válido para os cilindros tipo "Yankee" de máquinas de papel tissue";

- Maximização da recuperação do calor dos gases de exaustão da capota (ar quente e úmido) para aquecimento do ar frio e seco a ser utilizado no insuflamento da capota;

- Recuperação do calor de "flash" dos condensados, quando de sua extração de dentro dos cilindros secadores;

- Maximização de uso de vapor de baixa pressão;

- Utilização de feltros adequados e eficientes para máxima saturação, desaturação e limpeza;

- Utilização de telas com desenhos adequados para máxima retenção de massa e drenagem de água, concomitantemente;

- Melhoria substancial na lavagem e acondicionamento de telas e feltros;

- Melhoria na lavagem de caixas de vácuo, tinas, tanques, etc.;

- Otimização da performance do sistema de vácuo;

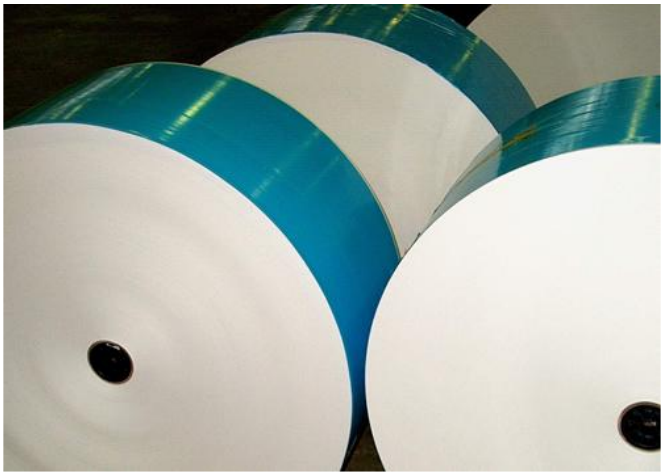
- Otimização da performance do secador infravermelho, quando existente;

- Utilização de pré-secagem mecânica em cintas condensadoras ("Condebelts");

- Utilização de secagem por impulso ("Impulse Drying");

- Maximização no uso de cargas minerais nas receitas de massa, já que as cargas demandam menores quantidades de energia para secagem;

- Minimização na ocorrência de secagem exagerada da folha de papel (secos acima de 96%) ou da folha de celulose (secos acima de 92%).



==========

SELEÇÃO DE INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Todas essas inúmeras recomendações técnicas necessitam de acompanhamentos através de indicadores de performance para aferição dos resultados sendo alcançados em conservação de energia.

Conheçam quais são os principais indicadores para aferição da ecoeficiência energética em fábricas do setor de celulose e papel:

- Teor de umidade da biomassa combustível;

- Teor de sólidos secos no licor preto para queima na caldeira de recuperação;

- Custos variáveis do vapor e da eletricidade, valorando inclusive a fração da madeira convertida em licor e todas as biomassas combustíveis;

- Geração de gases de efeito estufa em toneladas de CO_2 equivalente por tonelada de produto final vendável fabricado na planta industrial;

- Temperatura da água de alimentação das caldeiras;

- Temperatura dos gases de exaustão da combustão;
- Temperatura da água desmineralizada;
- Temperatura do ar de combustão insuflado para queima;
- Pressão e temperatura do vapor superaquecido;
- Percentagem total de retorno de condensados de vapor vivo;
- Percentagem de sólidos do licor preto na entrada da seção de evaporação;
- Fator de economia da evaporação (toneladas de água evaporada por tonelada de vapor vivo alimentado à seção de evaporação);
- Concentração e atividade do licor branco;
- Proporção entre energia elétrica comprada e energia elétrica produzida;
- Eficiência térmica das caldeiras;
- Eficiência do sistema de geração de eletricidade;
- Eficiência global da cogeração;
- Consumo específico de vapor nas principais áreas consumidoras de vapor (evaporação, digestor, branqueamento, secagem da folha de papel ou celulose, forno de cal, etc.);
- Consumo específico de energia elétrica nas áreas grande consumidoras desse insumo energético (digestor, branqueamento, secagem da folha de papel ou celulose, refinador de polpa, etc.);
- Teor de secos (consistência) da folha úmida após mesa plana, após seção de prensagem úmida e após prensa de colagem alcalina;
- Consumo especifico de água;
- Geração específica de efluentes;
- Percentual de perda de água total da fábrica (diferença entre total de captação e descarga total de efluentes);
- Teor de umidade da lama de cal entrando no forno de cal;

- Fatores de carga e de potência para equipamentos elétricos;
- Perda específica de calor pelos efluentes;
- Perda específica de calor pelos gases de combustão que são expelidos pelas diferentes unidades de combustão (caldeiras, incineradores, forno de cal, etc.);
- Perda específica de calor em condensadores;
- Etc.

As unidades mais usuais para esses indicadores são:

- Eficiências e rendimentos em percentagem;
- Águas e efluentes em m³/tsa;
- Calor e vapor em GJ/tsa ou Gcal/tsa;
- Eletricidade em MWh/tsa ou kWh/tsa;
- GJ ou Gcal/tonelada de água evaporada;
- Tonelada vapor/tonelada de produto;
- Toneladas de água evaporada/tonelada de vapor.

DESENVOLVENDO MEDIDAS PROFILÁTICAS E SANITÁRIAS PARA ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Existe uma série de medidas gerais, aplicáveis a diversas áreas, a maioria dependendo da cultura das pessoas, outras de cunho tipicamente preventivo (por isso, o nosso termo profilaxia). A sua listagem nesse capítulo é importante para ajudar a todos nas empresas a desenvolver cultura para a ecoeficiência energética e para a prevenção aos desperdícios não apenas de energia.

O uso racional da energia se consegue com medidas de diferentes níveis de dificuldades. Algumas são muito fáceis de adotar, outras demandam até mesmo mudanças conceituais importantes e difíceis de serem implementadas. Um exemplo, para esse último tipo de conceitos arraigados. Caso a alvura da celulose de mercado e a alvura dos papéis de impressão fossem reduzidas em pelo menos 3%, não apenas a ecoeficiência energética nas fábricas seria melhorada, mas também a ecoeficiência do setor como um todo. Estaremos aguardando os pioneiros para essa ação. Com certeza, o apoio de ambientalistas e de entidades públicas (através de compras verdes governamentais) deverá ser enorme, e por parte da mídia também. É algo inevitável a acontecer no futuro, portanto só temos que esperar para ver quem sairá na frente.

Celulose branqueada pronta e armazenada ao tempo – o que demonstra que alvura da polpa não é tão vital nesse processo de fazer papel branco, não é mesmo?

As principais medidas profiláticas/sanitárias são as seguintes:

Gerais:

- Limpeza, limpeza, limpeza de todas as máquinas e instalações industriais, em especial das que fazem trocas térmicas;
- Efetiva busca da produção equilibrada, com continuidade operacional e dentro de ritmos sustentáveis;
- Máximo fechamento de circuitos de água e balanceamentos adequados entre águas frias e quentes, limpas e sujas, etc., etc.;
- Automação adequada com controles energéticos e sensores de perdas e fugas;
- Ajuste dos limites de controle na automação com base em balanços de energia e de massa, sempre atualizados;
- Dimensionamento adequado de tubulações, motores, refinadores, sopradores, etc.;
- Desenvolvimento de cultura de recuperação de calor residual secundário e águas servidas (filtrados, condensados, etc.);
- Controle de purgas, drenagens, transbordos, fugas, vazamentos, etc. (purgadores, tubulações, engates, gaxetas, flanges, tanques, etc.);
- Utilização de tecnologias tipo "kidney" (rins depuradores) para depuração de águas e favorecimento de sua melhor reutilização (osmose reversa, ultrafiltração, flotação, evaporação de filtrados, trocadores de calor, etc.);
- Efetiva aferição de malhas de controle, medidores, indicadores de nível, etc.;
- Desenvolvimento de estratégias para redução da dependência de equipamentos auxiliares, destinados à segurança dos processos. É muito comum a existência de motores, bombas, tanques tipo pulmão, caldeiras reservas, etc. A situação é tão crítica em alguns casos, que muitos desses equipamentos reservas são mantidos funcionando em baixa carga apenas para estarem ligados se forem demandados.

- Desenvolvimento de fornecedores externos para itens não vitais e que demandam, grandes consumos de energia (Exemplo: clorato de sódio, soda cáustica, ácido clorídrico, etc.).

Área térmica:

- Minimização de temperaturas processuais, tais como as usadas no cozimento, branqueamento, filtrados, polpas fibrosas, etc.;
- Condenação do uso de vapor vivo para aquecimento direto, substituindo-o por calor recuperado;
- Isolamento adequado de redes de vapor, caldeiras, evaporadores, tanques, etc.;
- Ênfase na qualidade da água industrial para evitar incrustações minerais e/ou biológicas nas tubulações de troca térmica;
- Máxima atenção à qualidade do vapor (temperatura, pressão, umidade, etc.);
- Utilização de águas recuperadas para limpeza;
- Redução da possibilidade de contaminação de condensados de vapor vivo;
- Utilização de desaeradores eficientes, com mínima perda de vapor quando da separação do ar de dentro de equipamentos de troca térmica;
- Garantia de efetiva qualidade em todos os sistemas de troca térmica, para que o vapor realmente consiga trocar seu calor e não acabe sobrando como excedente;

Área elétrica:

- Condenação do uso de ar comprimido para finalidade a que ele não foi destinado (Exemplo: "varrer o chão" ou "limpar a roupa");
- Controle efetivo da qualidade do ar comprimido (umidade, pressão, potência das ferramentas pneumáticas, etc.);
- Utilização dos equipamentos nas cargas e capacidades que lhes oferecem máxima performance. (Exemplo: os motores em plena carga possuem

fator de potência adequado, mas quando estão sub ou super-dimensionados perdem essa qualidade e apresentam piores rendimentos);

- Análise sistemática das redes elétricas para redução de perdas na transmissão e distribuição;

- Utilização de variadores de velocidade eficientes para bombas de transferência, bombas de vácuo, sopradores, acionadores, etc.;

- Utilização de agitadores de mínima carga elétrica (desenhados e projetados para tal);

- Controle efetivo de rendimentos (motores, bombas de vácuo, bombas centrífugas, compressores de ar, etc.);

- Utilização de motores de alto rendimento;

- Seleção adequada do tipo de motor conforme uso (corrente contínua ou alternada, etc.);

- Minimização no número de motores, bombas, etc. por simplificações na engenharia do projeto;

- Utilização de lâmpadas longa-vida e fotocélulas na iluminação;

- Redimensionamento na iluminação de áreas internas e externas;

- Uso ao máximo de luz natural (telhas transparentes, abertura de janelas e portas, etc.);

- Etc.

Uma outra enorme relação de oportunidades para ecoeficiência, quer energéticas ou gerais para a melhor operação das fábricas de celulose e papel pode ser encontrada em **"Mil e uma maneiras de fazer sua fábrica de celulose e/ou de papel e sua floresta plantada mais ecoeficazes e mais ecoeficientes",** capítulo 12 do nosso **Eucalyptus Online Book** (http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT12_P%2BL_final.pdf). Não deixem de ler, acredito que há coisas definitivamente muito úteis e que ajudam pelo menos a identificar potenciais de melhoria para nossas fábricas.

==========

ENCONTRANDO PROJETOS VENCEDORES EM ECOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Existem centenas, talvez milhares de oportunidades em ecoeficiência aguardando para serem avaliadas e muitas delas implementadas. Essa é a realidade diária para todos nós. Sempre podemos fazer as coisas de forma melhor do que estamos fazendo hoje, uma regra irreversível e que nos direciona para a melhoria contínua. Nos outros capítulos que escrevi sobre ecoeficiência e produção mais limpa, sempre procurei colocar exemplos de casos com a devida valoração a título de desenvolver essa prática. A valoração nos ajuda a tomar decisões mais eficazes, que resultem mais para a empresa, para o meio ambiente e para as pessoas.

Fábricas bem operadas, eficientes em converter as matérias-primas em produtos e com mínimos desperdícios são ecoeficientes também em energia. Tudo isso já reconhecido e suportado pelas Leis da Termodinâmica.

A ecoeficiência energética está definitivamente integrada a qualquer tipo de programa de produtividade, qualidade operacional, produção mais limpa ou de redução de perdas. O item energia é vital, não pode ficar em segundo plano. Já vimos que energia e matéria caminham muito juntos na Natureza. Há inclusive os físicos que dizem que matéria e energia são uma coisa só: um dia o Universo foi somente Energia e a Grande Explosão ("Big Bang") dessa enorme concentração de energia é que resultou na Matéria universal.

Existem muitos projetos de melhoria onde o tema energia não tem importância crítica, mas em outros ele é o cerne a ser avaliado. Dessa forma,

a equipe que vai avaliar o mesmo deve estar consciente e treinada sobre avaliações energéticas, que em geral são algo mais complicadas do que simplesmente as análises relacionadas à massa/matéria. Há às vezes cálculos mais complicados de termodinâmica e operações unitárias, envolvendo mudanças de estado da matéria, liberação ou uso de calor latente, entalpias e entropias, etc. Muita atenção portanto, e boa sorte.

A título de exemplo prático, vou lhes apresentar a seguir um estudo de caso simples, apenas para consolidação de conceitos.

Estudo de caso:
Alteração da qualidade da biomassa energética para melhor ecoeficiência energética

Suponhamos que uma empresa hipotética tenha uma caldeira de força para gerar energia por cogeração a partir de biomassa energética. A caldeira é alimentada por um "mix" de diversos tipos de biomassa (cavacos de serraria, costaneiras, maravalhas, serragem da classificação de cavacos e toras picadas de eucalipto). As toras de eucalipto são compradas localmente e representam cerca de 30% na composição da matriz energética da caldeira de biomassa. A madeira de eucalipto é relativamente escassa na região e há muita competição para negócios de compra/venda da mesma. Os fazendeiros e produtores locais querem receber logo pelo seu "ouro vegetal" e tão logo cortam a floresta, já querem entregar o produto ao comprador. Por outro lado, a empresa compradora de biomassa não tem interesse em estocá-la, pois isso representaria uso de espaço de pátio de madeira que ela não dispõe e de mais movimentações/baldeios de madeira. Com isso tudo, agregar-se-iam custos, tanto diretos, como financeiros da estocagem. Por essas razões, as toras chegam muito úmidas à fábrica e como são transformadas em

cavacos e consumidas de imediato, revelam uma oportunidade importante de ecoeficiência energética a ser valorada e otimizada. A umidade média desse material tem sido relatada como 55%.

O poder calorífico inferior dessa biomassa é consequentemente baixo: 7,7 GJ/tonelada como tal, a 55% de umidade. O valor pago ao produtor por essa biomassa é o equivalente a 25 US$/tonelada como tal. A eficiência térmica da caldeira de biomassa é de 84%, em média.

A empresa está avaliando a possibilidade de comprar toras mais secas e compartilhar os ganhos com os fornecedores de toras, através de um preço maior e mais justo para as toras mais secas. Caso os produtores deixassem as toras secar na floresta por um período de 60 a 90 dias, há comprovadas evidências que essa umidade média passaria a 35%.

As questões que a empresa gostaria de ter respondidas seriam:

- Qual o valor máximo que poderia pagar por uma biomassa mais seca, "mantidos ou não os preços atuais por GJ de combustível"?
- Quais os possíveis ganhos em ecoeficiência energética, como os ganhos em rendimentos térmicos na caldeira de força, etc.?
- Quais outros benefícios ambientais e sociais poderiam estar associados?

Os resultados da avaliação energética mostram que a madeira mais seca a 35% de umidade (65% de sólidos secos) passaria a ter 10,8 GJ/tonelada tal qual. De uma maneira simplificada, a cada tonelada bruta de biomassa comprada, seriam adicionados 3,1 GJ. Algo bastante significativo e que chamou a atenção dos técnicos. Entretanto, balanços térmicos e mássicos devem ser realizados sob bases fixas e constantes. Nesse caso se decidiu por fazer as comparações com base em 1 tas - tonelada de madeira absolutamente seca (0 % de umidade). Essa seria então a base referencial de controle para esse pequeno estudo de avaliação.

Disso resulta, então:

- 1 tonelada absolutamente seca possui 2,22 toneladas úmidas a 55% umidade e por ela se pagam 55,6 US$
- 1 tonelada absolutamente seca possui 1,54 toneladas úmidas a 35% de umidade e por ela se pagariam 38,5 US$ aos preços atuais

Teremos uma redução de 0,68 toneladas de peso úmido por cada tonelada seca e que efetivamente gera calor. Um ganho que se revestirá de imediato no custo do transporte que é pago pela empresa compradora de madeira. O valor do frete é de 15 US$ por tonelada transportada para um raio médio de 80 km da fábrica. Portanto, para cada tonelada de combustível biomassa absolutamente seca que for transportada haverá um ganho de

cerca de 10 US$. Além disso, teremos uma significativa diminuição no número de cargas de transporte por dia, já que existem limitações de peso máximo de transporte por cada carga de caminhão.

Outro enorme ganho será na própria caldeira de força, na disponibilização de energia térmica primária.

- A biomassa mais seca (a 35% de umidade) consome 1,5 GJ/tas de combustível somente para aquecer e evaporar a água contida na madeira e para lançar a mesma na forma de gases úmidos e quentes de exaustão pelas chaminés da caldeira de força. Esse consumo ocorre dentro da própria caldeira e consome calor da energia primária da biomassa.
- Já a biomassa mais úmida (a 55% de umidade) consome muito mais energia primária do combustível, cerca de 3,2 GJ/tas para aquecer e evaporar a água da umidade da madeira.

Vamos admitir que cada tonelada absolutamente seca de madeira possua um poder calorífico de 19 GJ/tas. Podemos ver então que somente para "se livrar" da umidade, há perdas de calor primário que são de 17% no caso da madeira mais úmida e de 7,8% no caso da madeira mais seca. A mudança de teor de umidade coloca suprimento novo de energia na caldeira, para pesos muito menores de madeira entrando na fábrica. Á água não apenas vem passear na fábrica de celulose, mas também vem para gastar energia e reduzir rendimentos. Quanto mais seca for a madeira, melhor será toda a ecoeficiência energética.

Ao mudar o teor de umidade de 55% para 35%, haverá um ganho de 3,2 – 1,5 = 1,7 GJ/tas em energia útil à caldeira.

O valor atualmente pago ao fornecedor pela madeira a 55% de umidade tem sido 25 US$/tonelada tal qual, o que leva a um valor de US$ 3,25/GJ. Caso a empresa opte por pagar mais pela madeira mais seca, só pela disponibilidade adicional de energia por tonelada úmida, ela poderia pagar no mínimo US$ 35,1 GJ/tonelada tal qual. Além disso, existiriam ganhos no transporte, na eficiência térmica da caldeira, nos aspectos de poluição aérea, etc. Essas vantagens precisam ser compartilhadas com o produtor de madeira para servirem de estímulo a ele para secar naturalmente a madeira antes de vendê-la. Como isso quase não tem custo ao produtor rural, seria definitivamente algo que resultaria muito positivo. Ao invés de se preocupar em molhar a madeira para ganhar algo mais, o produtor se preocuparia em secá-la, ganhando inclusive mais dinheiro com isso. Ao mesmo tempo, todos estariam agregando ecoeficiência com o melhor uso desse recurso natural renovável que é a madeira.

Entretanto, a valoração pode ser mais completa e isso envolveria a identificação e quantificação de outros dados. Toda valoração demanda quantificações, ainda que sejam estimativas.

As seguintes vantagens podem simplificadamente serem relatadas para esse estudo de caso:

Vantagens econômicas:

- Menor custo de cada unidade de calor (GJ) disponibilizada à caldeira como energia primária;
- Maior geração de calor por tonelada de combustível;
- Maior eficiência térmica da caldeira;
- Menor movimentação de cargas (toras, cavacos, etc.) para mesma quantidade de energia comprada e/ou consumida;
- Menor custo em transporte de madeira;
- Menor custo na geração de vapor e eletricidade;
- Etc.

Vantagens ambientais:

- Menor necessidade de área plantada com florestas para mesmo suprimento de energia primária;
- Menor geração de gases poluentes (monóxido de carbono, fuligem, etc.);
- Menor geração de gases de exaustão da combustão (muito menos vapor de água nesses gases, etc.);
- Melhor operação dos precipitadores eletrostáticos ou ciclones de separação de partículas;
- Menor consumo de combustível para o transporte das toras mais secas;
- Etc.

Vantagens sociais:

- Menor poluição a afetar as comunidades circunvizinhas;
- Maior rentabilidade e felicidade do plantador de florestas;
- Maior facilidade nas operações de manuseio de toras (toras mais leves, etc.)
- Etc.

Desvantagem social:

- Menor número de viagens para a empresas de transporte de madeira, o que pode significar algum tipo de impacto para os condutores de veículos.

Enfim amigos, vimos com esse exemplo simples que mesmo coisas simples de serem executadas podem resultar em inúmeras vantagens econômicas, ambientais e sociais. Essa é a grande vantagem da ecoeficiência. Não resulta em ganhos isolados tão somente para um dos atores, mas para toda a rede envolvida. Isso é muito importante que os gestores e executivos entendam muito bem. Os ganhos ao serem compartilhados resultam mais para a empresa, meio ambiente e pessoas.

Biomassas combustíveis armazenadas ao tempo: exemplo de ecoineficiência energética

==========

TENDÊNCIAS ECOENERGÉTICAS NO SETOR DE PAPEL E CELULOSE

Quando o mestre Ts'ai Lun inventou o papel na antiga China, ele jamais poderia imaginar que quase 2.000 anos depois, a base conceitual de sua descoberta continuaria se mantendo. O princípio é absolutamente o mesmo: usar enormes quantidades de água para se formar uma folha sobre uma tela para depois se secá-la. Evoluíram principalmente a escala de produção, a forma contínua de operar o processo, a automação e a diversificação nos tipos de produtos papeleiros.

Há algumas décadas atrás, quando não havia pressão sobre os recursos hídricos do planeta, os consumos de água para fabricar celulose e papel eram altíssimos. Haviam fábricas integradas com circuitos de água muito abertos, que chegavam a consumir mais de 150 metros cúbicos de água por tonelada de papel final fabricado. Hoje, mesmo com tecnologias modernas e estado-da-arte, esses consumos de água ainda são altos, cerca de 25 a 40 m^3/tsa para fábricas de celulose de mercado e entre 3 a 15 m^3/t para papel. Por essa razão, a água é o grande veículo para gastar energia nas fábricas de celulose, seja para se aquecer com calor ou para ser bombeada pelo uso de energia elétrica. Se a água é um grande desperdiçador de calor e eletricidade, as fumaças também. Incluem-se as fumaças das caldeiras, forno de cal, incineradores e também as neblinas das torres de refrigeração. Essas fumaças todas significam perdas de calor e de água, entre outras perdas. Somando a isso as perdas por irradiação e evaporação (que consome calor para mudança de estado físico), está construída uma boa receita de processo desperdiçador de energia. A quantidade de energia líquida realmente usada para converter a madeira em celulose e a massa de celulose em papel está muito distante do que

realmente se utiliza na prática industrial. Existe muita concordância sobre isso no setor e fora dele. Por isso que entidades de pesquisa, organizações governamentais e associações de classe estão se mobilizando para encontrar formas de reduzir esses consumos e esses desperdícios. Também os fabricantes de equipamentos e criadores de tecnologias estão enxergando isso como excelentes oportunidades para negócios mais verdes. A ecoeficiência das máquinas já está se tornando uma vantagem competitiva para essas empresas. Isso pode ser facilmente observado ao se visitar o website de empresas detentoras de "know-how" tecnológico setorial para construção das máquinas dessas fábricas de alta agregação tecnológica, como Metso, Voith, Andritz, ABB, Perini, Meri, etc., etc. Em todas as opções tecnológicas oferecidas na atualidade são enaltecidas as vantagens ambientais e energéticas das mesmas.

Uma obsoleta e antiga "fábrica de fumaças e vapores"

O caminho em direção ao futuro já nos mostra tendências muito claras:

- Os preços e o fornecimento de energia se tornarão mais problemáticos aos usuários;
- As fontes a serem buscadas devem ser as renováveis (biomassas, biodiesel, bioetanol, energia eólica; energia hidrelétrica, etc.);
- Haverá enorme pressão ambiental em relação ao uso de combustíveis fósseis e associados à emissão de gases de efeito estufa;

- Haverá forte pressão para a racionalização na Sociedade (e na indústria, por extensão) do uso de fontes de recursos naturais como energia, água, ar, solo, etc., em função dos usos cada vez mais conflitivos para esses recursos.

Novas tecnologias estarão surgindo para impulsionar nossas fábricas a novos patamares ecoenergéticos. Isso inclui as novas biorefinarias sendo desenvolvidas a pleno vapor, os processos de gaseificação de biomassa, o uso da lignina separada e rica em carbono, etc. A energia verde será uma grande e fabulosa oportunidade que o setor de base florestal tem para oferecer à Sociedade em direção à sustentabilidade. Isso definitivamente ligará fortemente o setor florestal aos processos de desenvolvimento limpo atrelados às potenciais medidas de prevenção às mudanças climáticas globais.

Algumas tecnologias que sequer eram cogitadas há poucos anos atrás para nosso setor surgem agora como motivos de competitividade e de esperanças de forte agregação de sustentabilidade. Vejam algumas:

- Tratamento biológico de efluentes e resíduos sólidos por processos anaeróbicos de forma a permitir a utilização como combustível do metano gerado (biogás);

- Gaseificação do licor preto e da biomassa residual;

- Separação prévia das hemiceluloses da madeira antes do cozimento kraft para produção de etanol celulose;

- Possível eliminação da caldeira de recuperação de licor, substituindo-a por processos de precipitação e extração seletiva da lignina, o melhor dos combustíveis da biomassa;

- Separação e recuperação de energéticos importantes do processo, antes vistos como resíduos ou poluição: terebintina sulfatada, metanol, “tall oil”, etc.;

- Consistências de trabalho com massa celulósica (depuração e lavagem, por exemplo) significativamente mais elevadas para redução de água no processo;

- Controle avançado do processo utilizando cada vez mais eficientes sistemas de automação e focados em valores de consumos energéticos.

Há enormes desafios para novos saltos tecnológicos com reduções de consumo de água e energia. As mais realistas expectativas antecipam reduções de até 30% na energia primária para o setor de papel e celulose, em poucos anos mais. Alguma parte desse percentual se espera conseguir por maiores níveis de reciclagem do papel e por integrações de fábricas de celulose e papel. Outra parte deverá ser conseguida por programas de ecoeficiência energética e fechamento de circuitos de água. Já existem tendências a nível de países e regiões para incentivos à formação de agregados ou arranjos produtivos ("clusters") de base florestal.

Muitos conhecimentos científicos e desenvolvimentos em inovações tecnológicas são esperados em países como Finlândia, Suécia, Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Japão, França e também no Brasil para:

- aumentar a taxa de reciclagem média do papel para mais de 70% (em alguns países isso já é realidade);
- reduzir o consumo específico de água para no máximo 15 m^3/tsa para a fabricação da celulose e de 0 a 5 para o papel.

Há muito otimismo entre os postulantes para esses novos patamares de ecoeficiência em uso racional da água. As entidades de desenvolvimento tecnológico estão focando itens prioritários nos processos industriais, tais como:

- caldeiras com maiores eficiências térmicas;
- geração de eletricidade com máximos rendimentos e mínimas perdas;
- menor uso de água em todas as áreas do processo industrial;
- fechamento das portas para perdas térmicas e elétricas;
- aumento das consistências de fabricação (em todas as áreas);
- maiores escalas de produção, com as conseqüentes vantagens do efeito escala nos consumos unitários de energia;
- redução na geração de refugos e perdas.

As áreas grande consumidores de calor e eletricidade serão as que receberão mais pesquisas e mais inovações, até mesmo saltos tecnológicos importantes. Há ainda muitas expectativas de que as exageradas exigências por alvuras tão altas nas celuloses de mercado e nos papéis sejam atenuadas. Caso o mundo papeleiro que se apoia em fibras virgens se convencesse de que a Sociedade pode usar papéis ligeiramente menos alvos (como é o caso dos papéis reciclados), tanto o consumo de água como de energia sofreriam sensíveis impactos positivos. Repito o que já lhes disse sobre alvuras, agora com valores: alvuras de 88% IS0 são significativamente mais ecoeficientes do que alvuras de 92% ou mais. As razões para que os fabricantes não "descubram isso" só podem estar ligadas à intensa competição nos mercados e a busca por uma "pureza artificialmente criada

nas mentes humanas em relação ao branco mais branco". Por sorte o mundo e a Sociedade estão mudando. O interesse de parte relevante da Sociedade por papéis reciclados até mesmo de cores muito distantes do branco já é uma indicação de mudanças.

Em abril de 2010, nosso estimado amigo Ron Brown, através da Agenda 2020 Technology Alliance norte-americana, editou pela segunda vez uma publicação importante sobre as rotas tecnológicos ("Technological Roadmaps") esperadas para o setor de produtos florestais, entre os quais celulose e papel. Participaram da elaboração desse valioso documento inúmeros técnicos do setor de diversos países, inclusive do Brasil. A maioria colaborou com sua visão de futuro e expectativas de tendências tecnológicas ao setor. O objetivo desse "roadmap" é estabelecer campos prioritários de pesquisas para novos saltos tecnológicos na fabricação de produtos de base florestal e celulose/papel. A meta é uma produção mais sustentável e ecoeficiente. A expectativa é de que esses desenvolvimentos ocorram nos próximos 10 anos a partir dessa publicação de 2010.

As principais propostas de metas ecoenergéticas para o setor de papel e celulose foram:

- redução das emissões específicas de carbono fóssil equivalente em cerca de 25%;

- redução do consumo específico de água em 50% dos valores atualmente definidos como BAT. Os focos para obtenção dessa redução estarão em: tratamento e reuso de água, especialmente filtrados e condensados; fechamento do circuito de água no branqueamento da celulose; redução de água nas lavagens, depurações e máquinas de formação e secagem da folha.

- Redução da água de processo na linha de fibras à quantidade de água que a madeira ingressa consigo na fábrica;

- Melhoria em 25% no consumo de combustível (energia primária) através de: melhoria nos rendimentos de caldeiras, turbo-geradores, cogeração, etc.;

- Melhoria de 25% em relação às perdas de energia em sua distribuição (térmica e elétrica);

- Melhoria na eficiência operacional e continuidade de operações, desde a concepção do projeto, operação e adoção de melhores práticas (a serem redesenvolvidas);

- Recuperação do gás carbônico gerado no forno de cal (pela queima da cal e pela queima de combustíveis);
- Aumento do uso de calor desperdiçado nas chaminés;
- Redução em 50% na necessidade térmica para concentrar/evaporar o licor preto;
- Aumento da consistência de desagregação da massa em "pulpers" para 30%;
- Aumento da consistência na formação da folha ("high consistency forming");
- Entrega de uma folha de papel bem mais seca (cerca de 55 - 65% de consistência) para a bateria de secadores com a finalidade de minimizar o consumo de vapor;
- Melhoria substancial na qualidade das vestimentas das máquinas;
- Aumento na proporção de biomassas em matrizes de combustíveis primários (syngás, lignina precipitada, gás de biomassa, etc.);
- Etc.

Gerando biogás em laboratório

As rotas tecnológicas estão sendo pavimentadas com criatividade, desafios e muita inovação. As fábricas da próxima década já deverão incorporar muitos desses novos conceitos, mas lembrem-se que nosso

setor é algo refratário a grandes saltos tecnológicos, gostando mais das tecnologias comprovadas. Entretanto, o tempo é de mudanças. Quem ficar para trás perderá competitividade, ficará com a imagem prejudicada e terá mais dificuldades em seus diálogos com investidores, entidades de controle ambiental, etc. São opções que estarão sendo gradualmente disponibilizadas ao setor e sempre teremos os que possuem mais audácia, saindo como "pole positions" ou "front-runners".

==========

CONSIDERAÇÕES FINAIS

"Ao setor, com carinho"

Sempre tive um enorme carinho e dedicação aos setores florestal e de celulose e papel. Também sempre acreditei que a inovação nos conceitos tecnológicos nos ajudará a melhorar muito na busca da sonhada sustentabilidade. Por essa razão, a ênfase que sempre coloquei na ecoeficiência, na melhoria contínua, na educação de pessoas, na quebra de paradigmas e na inovação tecnológica para esses setores. Já escrevi e tenho falado muito sobre esses temas todos, sobre ecoeficiência e sustentabilidade, desde a floresta até a reciclagem do papel.

Minha meta sempre foi a de estimular avanços setoriais, tanto na forma de comportamento, atitude, gestão e tecnologias. A

ecoeficiência é uma excelente ferramenta para conseguir saltos de performances operacionais, gerenciais, ambientais e energéticas. Não tenho dúvidas que o setor brasileiro de celulose e papel almeja um futuro melhor, não apenas como negócio ou oportunidade econômica, mas como um negócio inserido dentro de uma matriz de alta sustentabilidade para a Sociedade e para a Natureza. Por essa razão me esforcei muito para escrever um capítulo do **Eucalyptus Online Book** que possa ajudar esse meu setor de celulose e papel a atingir esse sonhado e desejado futuro melhor. Espero que o que escrevi possa ser muito útil a vocês e ao nosso setor, no Brasil ou fora dele. Afinal, somos todos partes de uma grande família com responsabilidades de sustentabilidade globais.

Um abraço a todos
Celso Foelkel

Ecoeficiência e Ecoeficiência Energética – Um futuro melhor para todos

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

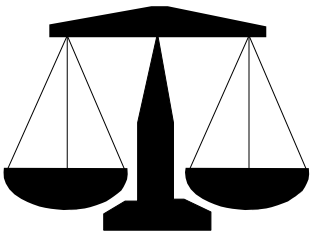
Meus amigos, os meus propósitos com esse guia referencial de conservação de energia que procurei criar para o setor de celulose e papel foram basicamente os seguintes:

a) oferecer uma base conceitual teórica aos que trabalham no setor, o que procuramos fazer no texto que vocês acabaram de ter acesso;
b) disponibilizar uma extensa seleção de textos técnicos que pudessem servir de base tecnológica para que qualquer pessoa do setor que porventura venha a se dedicar a estudar eficiência energética possa de forma simples ter em suas mãos uma qualificada biblioteca.

Por essa segunda razão, estou a seguir lhes disponibilizando mais de duas centenas de referências de textos, websites e eventos que guardam relação direta com o que apresentamos nesse capítulo. São artigos, manuais, materiais de cursos, palestras, enfim, uma coleção para ser estudada com carinho por todos aqueles que queiram se especializar ou aprender acerca de **Ecoeficiência Energética** e sua importância para o setor de papel e celulose.

É muito importante que vocês procurem navegar e ler alguns ou muitos desses documentos. Selecionem alguns para começar, mas voltem sempre para rever outros. Sugiro que procurem fazer o downloading e salvar os que mais gostar, já que a guarda de muitos arquivos na web é temporária.

Divirtam-se navegando e aprendam muito o que selecionamos para vocês:



Referências sobre Eventos e Cursos

Essa seção tem como meta principal apresentar a vocês todos a possibilidade de se navegar em eventos que já aconteceram em passado recente (ou não tão recente), e para os quais os organizadores disponibilizaram o material do evento para abertura, leitura e downloading em seus websites. Trata-se de uma maneira bastante amigável e com alta responsabilidade social e científica dessas entidades, para as quais direcionamos os nossos sinceros agradecimentos. Gostaria de enfatizar a importância de se visitar o material desses eventos. A maioria deles possui excepcionais palestras em PowerPoint, ricas em dados, fotos, imagens e referências para que você possa aprender mais sobre os temas abordados. Outras, disponibilizam todo o livro de artigos técnicos, verdadeiras fontes de conhecimento para nossos leitores. Os eventos e cursos a vocês apresentados são todos relacionados de forma direta ao tema **Ecoeficiência Energética** e **Conservação da Energia**. Esperamos que apreciem essa seleção.

Eficiência Energética. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. (em Português)
Evento organizado pela ABTCP em abril de 2010 na cidade de Itupeva/SP, com amplos debates e apresentações de excelente qualidade sobre o tema eficiência energética na indústria de celulose e papel.
Disponível em:
http://www.abtcp.com.br/Pagina.aspx?t=evento_detalhe&idEvento=8449 (Palestras do evento para downloading – Caso esse link esteja desativado, a ABTCP coloca as palestras à sua disposição através dos seguintes endereços de e-mail: nit@abtcp.org.br ou acervo@abtcp.org.br – Núcleo de Informações Técnicas)

Conferência sobre Eficiência Energética e Competitividade. (em Português, Inglês e Espanhol)
Evento organizado pelo Instituto Ekos Brasil, realizado em 2008 na cidade de São Paulo, com inúmeras apresentações de renomados líderes brasileiros que atuam no setor de eficiência energética.
Disponível em:

http://www.ekosbrasil.org/ee/default.asp?site_Acao=mostraPagina&paginaId=367
(Palestras para downloading)

International Seminar on Energy and the Forest Products Industry. (em Inglês)
Evento realizado em Roma/Itália, em 2006, e organizado pela FAO – Food and Agriculture Organization, IEA – International Energy Agency e ICFPA – International Council of Forest and Paper Associations.
Disponível em:
http://www.fao.org/docrep/009/j9425e/j9425e00.htm (Proceedings em html)
ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j9425e/j9425e01.pdf (Proceedings em pdf)

Congresso Brasileiro de Eficiência Energética e ExpoEnergia. (em Português)
Trata-se de um tradicional evento que é realizado anualmente no Brasil, sendo organizado pela ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia e pela Método Eventos de Energia.
Disponíveis em:
http://www.metodoeventos.com.br/4eficienciaenergetica/programa.htm (4º Congresso em 2007 – Programa)
http://www.metodoeventos.com.br/4eficienciaenergetica/downloads.htm (4º Congresso em 2007 - Palestras para downloading)
http://www.metodoeventos.com.br/5eficienciaenergetica/programa.php (5º Congresso em 2008 – Programa)
http://www.metodoeventos.com.br/5eficienciaenergetica/downloads.php (5º Congresso em 2008 – Palestras para downloading)
http://www.metodoeventos.com.br/6eficienciaenergetica/programa.php (6º Congresso em 2009 – Programa)
http://www.metodoeventos.com.br/6eficienciaenergetica/palestras.php (6º Congresso em 2009 – Palestras para downloading)
http://www.metodoeventos.com.br/7eficienciaenergetica (7º Congresso em 2010)

XI e XII Congresso Brasileiro de Energia. (em Português)
Eventos organizados pela COPPE/UFRJ em 2006 e 2008 respectivamente, através de seu Programa de Planejamento Energético.
Disponíveis em:
http://www.ppe.ufrj.br/xicbe/mesa.php (XI Congresso - Programa e palestras para downloading)
http://www.ppe.ufrj.br/xiicbe (XII Congresso - Programa)

Eventos de Cogeração Tech4CDM. (em Espanhol)
O projeto Tech4CDM tem a finalidade de promover o uso eficiente de novas fontes de recursos energéticos renováveis em 5 países da América Latina, com o apoio do governo da Espanha. Para isso se dispõe de uma série de eventos realizados em diversos países como México, Chile, Argentina, Peru e Equador.
Disponíveis em:
http://www.tech4cdm.com/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.212/id.58
(Tecnologias de cogeração – México – 2009)

http://www.tech4cdm.com/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.212/id.56
(Tecnologias de cogeração – Peru – 2009)
http://www.tech4cdm.com/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.213/id.63
(Tecnologias de cogeração – Argentina – 2009)
http://www.tech4cdm.com/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.212/id.62
(Tecnologias de cogeração – Chile – 2009)

ACEEE Meetings – American Council for an Energy-Efficient Economy.
(em Inglês)
O conselho norte-americano ACEEE disponibiliza uma grande quantidade de materiais de eventos sobre eficiência energética em seu website.
Conheçam em:
http://www.aceee.org/pubsmeetings/pastmtgindex.htm

Euca-Links - Referências de Websites Especializados em Conservação de Energia e em Ecoeficiência e Eficiência Energética

Nessa seção, estamos colocando para sua visitação alguns **Euca-Links** com relevantes organizações/entidades e seus websites e que estão disponíveis na "world wide web". Basta vocês clicarem sobre os endereços de URLs referenciados para abrirem os links e conhecerem o que selecionamos especialmente para vocês. Para esse nosso capítulo inédito sobre **Ecoeficiência Energética**, todos os Euca-Links estarão relacionados a organizações, entidades de pesquisa, associações de classe, órgãos públicos ou não governamentais e empresas detentoras de tecnologias especificamente desenvolvidas para conservação e uso racional da energia. Evidentemente, essa nossa seleção não engloba todos os websites especializados nessa temática energética, que é muitíssimo ampla. Sequer tenho conhecimento de todas as principais, tantas que existem. Por isso, caso alguma entidade tenha sido esquecida e os leitores acreditarem que ela possa enriquecer a nossa seleção, basta informar a sugestão que

procuraremos analisar a possível inclusão na revisão do capítulo. Nosso endereço para isso foelkel@via-rs.net.]

Conheçam as entidades selecionadas:

ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. (Brasil)

A ABESCO congrega empresas conhecidas no Brasil como ESCO's. ESCO ("Energy Service Company") são empresas de engenharia, especializadas em serviços de Conservação de Energia, ou em promover a eficiência energética e o consumo de água na instalações de seus clientes, utilizando-se de contratos de performance.
Disponível em:
http://www.abesco.com.br/datarobot (Website da ABESCO)
http://www.abesco.com.br/datarobot/sistema/paginas/pagebody2.asp?id=26&msecundario=64 (Teses e trabalhos de conclusão de curso em conservação de energia)

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. (Brasil)

A ABTCP é a entidade técnica no Brasil destinada a educar, desenvolver e estimular os avanços tecnológicos do setor de papel e celulose. A ABTCP tem dedicado forte ênfase em estudos e programas de eficiência energética, em parceria com outras associações de classe, como a CNI – Confederação Nacional da Indústria. A ABTCP tem ainda um programa de "benchmarking" de indicadores de performance, onde se inserem indicadores energéticos e ambientais.
Disponível em:
http://www.abtcp.org.br/Home.aspx (Website ABTCP)
http://www.abtcp.org.br/Pagina.aspx?IdSecao=100,101 ("Benchmarking" setorial)

ACEEE – American Council for an Energy-Efficient Economy. (USA)

O American Council for an Energy-Efficient Economy é uma entidade que desde sua fundação em 1980 se dedica ao uso eficiente da energia como forma de promover a prosperidade econômica, a segurança energética e a proteção ambiental.
Disponível em:
http://www.aceee.org/index.htm (Website geral)
http://www.aceee.org/pubsmeetings/index.htm (Publicações e eventos)

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (Brasil)

A ANEEL tem a missão de proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica no Brasil se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da Sociedade Brasileira.
Disponível em:
http://www.aneel.gov.br (Website geral)
http://www.aneel.gov.br/biblioteca/index.cfm (Biblioteca virtual)
http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=439 (Educação sobre conservação de energia)
http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27 (Eficiência energética)
http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivrosanos.cfm (Livros para downloading)

Australian RET – Department of Resources, Energy and Tourism. (Austrália)

Excelente website destinado a promover o uso consciente e racional da energia para melhoria da qualidade econômica, social e ambiental na Austrália.
Disponível em:
http://www.ret.gov.au/energy/Pages/index.aspx (RET – Energia)
http://www.ret.gov.au/ENERGY/EFFICIENCY/Pages/EnergyEfficiency.aspx (Eficiência energética)

CanmetEnergy. (Canadá)

CanmetEnergy é um centro de "expertise" científica e tecnológica canadense envolvendo mais de 450 técnicos, cientistas e engenheiros que trabalham para desenvolver tecnologias energéticas limpas. Está associada ao Natural Resources Canada e possui muitas informações técnicas relevantes para o setor de papel e celulose.
Disponível em:
http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/eng/index.html (Webpage CanmetEnergy)
http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/eng/publications.html (Publicações)
http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/eng/industrial_processes/industrial_systems_optimization/pulp_paper.html (Otimização energética para o setor de celulose e papel)
http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/eng/industrial_processes/industrial_systems_optimization/pulp_paper/publications.html (Publicações sobre papel e celulose)

CENERGIA – COPPE/UFRJ – Centro de Economia Energética e Ambiental. (Brasil)

O centro CENERGIA é mais uma das excelentes instituições que a COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro desenvolveu para os temas energéticos. Existe uma grande abundância de publicações, livros e estudos

de muito interesse aos que querem se aperfeiçoar nos temas energéticos no Brasil.
Disponível em:
http://www.cenergia.org.br (Website CENERGIA)
http://www.cenergia.org.br/material/interna_por_categoria.asp?apoio=7 (Teses de doutorado em energia)
http://www.cenergia.org.br/publicacoes/index.asp (Publicações)

CNI – Confederação Nacional da Indústria. (Brasil)

A CNI tem mostrado forte disposição em apoiar programas de eficiência energética em segmentos industriais brasileiros, desenvolvendo parcerias com entidades públicas, federações de indústria, associações de classe e empresas. Sua missão tem sido a de atuar como alavancador e motivador, bem como facilitação para obtenção de recursos para os programas. Dentre seus trabalhos para essa finalidade, podem ser citadas inúmeras palestras, artigos, documentos de posicionamento, etc.
Disponível em:
http://www.cni.org.br (Website CNI)
http://www.cni.org.br/portal/data/pages/FF80808121B517F40121B54C2EB34944.htm (Publicações)
http://www.cni.org.br/portal/main.jsp?lumPageId=4028808110845BB001108750EF4C2505&query=eficiencia+energ%C3%A9tica (Pesquisa no website sobre eficiência energética)

CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural. (Brasil)

O CONPET é um programa brasileiro do MME – Ministério de Minas e Energia que é coordenado pela Petrobrás para otimizar o uso dos recursos energéticos fósseis como aqueles derivados do petróleo e do gás natural.
Disponível em:
http://www.conpet.gov.br (Website CONPET)
http://www.conpet.gov.br/noticias/noticia.php?segmento=corporativo&id_noticia=315 (Selo CONPET de eficiência energética)
http://www.conpet.gov.br/videos/index.php?segmento=conpet (Vídeos)

Conversores de Unidades de Energia e Trabalho. (Diversos)

Alguns websites são muito úteis para permitir rápida conversão das inúmeras unidades de energia. Visitem alguns que oferecem esse serviço gratuitamente na web:
Disponíveis em:
http://www.onlineconversion.com/energy.htm
http://www.smpspowersupply.com/powerunits.html
http://www.convert-me.com/en/convert/energy

DOE – U.S. Department of Energy. (USA)

O Department of Energy do governo norte-americano tem a missão de promover o desenvolvimento a nível daquele País nos temas energéticos e suas relações tecnológicas, ambientais, econômicas e sociais.
Disponível em:
http://www.energy.gov/about/index.htm (Sobre o DOE)
http://www.energy.gov/energyefficiency/index.htm (Eficiência energética)

EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy. (USA)

Entidade do DOE – Department of Energy dos Estados Unidos da América que trata dos temas relativos a energias renováveis e conservação energética.
Disponível em:
http://www.eere.energy.gov (Website do EERE)
http://www1.eere.energy.gov/library/default.aspx (Publicações)
http://www1.eere.energy.gov/industry (Tecnologias de eficiência energética para a indústria)
http://www1.eere.energy.gov/industry/forest (EERE e o setor de base florestal)
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices (Melhores práticas em energia)
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/technical.html (Publicações técnicas sobre melhores práticas)

EIA – Energy Information Administration. (USA)

Organização do governo norte-americano para divulgação de informações acerca da energia e recursos energéticos.
Disponível em:
http://www.eia.doe.gov (Website geral)
http://www.eia.doe.gov/emeu/mecs/iab98/forest/index.html (Setor de base florestal)

Energia Online. (Brasil)

Publicação digital do CERPCH - Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas.
Disponível em:
http://www.cerpch.unifei.edu.br/energia_online.htm

Energy Environment Finland. (Finlândia)

Trata-se de um muito bem elaborado website, com um informativo digital regularmente disponibilizado gratuitamente. Possui inúmeras informações, textos, notícias, etc. provenientes de um dos países líderes em tecnologias e eficiência em uso da energia.
Disponível em:
http://www.energy-enviro.fi (Website geral)

http://www.energy-enviro.fi/index.php?PAGE=17&NODE_ID=19&LANG=1 (Eficiência energética)

Energy Star. (USA)

Programa de rotulagem energética desenvolvido pela EPA e DOE do governo dos USA para veículos e produtos da vida diária com a finalidade de promoção dos produtos mais ecoeficientes em utilização da energia.
Disponível em:
http://www.energystar.gov (Website do programa)

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. (USA)

A EPA é a agência de proteção ambiental do governo norte-americano, responsável pelos aspectos de fiscalização, regulamentação e controle de inúmeras atividades. A EPA também tem foco em eficiência energética, conforme pode ser observado em seu website.
Disponível em:
http://www.epa.gov/energy/energy.html (Eficiência energética pela USEPA)
http://www.epa.gov/energy/pubs.htm (Publicações da EPA sobre energia)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (Brasil)

A EPE é uma empresa pública ligada ao MME – Ministério de Minas e Energia do governo brasileiro. Em seu website tem diversos estudos e relatórios disponibilizados, dando ênfase em mercados de energia, impactos sobre o meio ambiente, etc.
Disponível em:
http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx

GIE – Gestión Integrada de la Energia. (Colômbia)

O GIE, também conhecido como SI3EA – Sistema de Gestión Integrada de Eficiência Energética y Energias Alternativas, consiste em uma iniciativa da UPME – Unidad de Planeación Minero Energética, que tem a finalidade de tornar publicas diversas ferramentas para melhoria da conservação de energia naquele País. Existem diversos documentos muito bem elaborados e informativos sobre diversos setores industriais e diferentes tipos de fontes de energia.
Disponível em:
http://www.si3ea.gov.co/Inicio/GIE/tabid/130/Default.aspx (Website do GIE)
http://www.si3ea.gov.co/Biomasa/tabid/133/Default.aspx (Biomassa)
http://www.si3ea.gov.co/Inicio/AuditoríasEnergéticas/tabid/128/Default.aspx (Auditorias energéticas)
http://www.si3ea.gov.co/Inicio/GestiónIntegraldelaEnergía/tabid/130/Default.aspx (Gestão integral de energia em setores industriais)

IEA – International Energy Agency. (França)

Entidade internacional com sede em Paris/França, parceira da Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), cuja missão é promover o uso racional e novos desenvolvimentos para os recursos energéticos em seus países membros. Disponibiliza inúmeros estudos, livros, artigos e links relacionados a essa temática, em seus mais variados aspectos.
Disponível em:
http://www.iea.org/index.asp (Website geral)
http://www.iea.org/index.asp (O que é a IEA)
http://www.iea.org/efficiency/index.asp (Eficiência energética pela IEA)
http://www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?KEYWORD_ID=4122 (Eficiência energética pela IEA)
http://www.iea.org/publications/free_all.asp (Publicações variadas disponíveis para downloading)
http://www.iea.org/speech/subjectresults.asp?keys2=4122&Submit=Submit (Palestras sobre eficiência energética)

IES – International Energy Studies. (Fórum global de cientistas)

O IES consiste em um grupo de cientistas globais que se dedica a promover a conservação e o uso racional da energia, a pesquisa sobre alterações climáticas e o papel das florestas nesses tópicos.
Disponível em:
http://ies.lbl.gov (Website geral)
http://ies.lbl.gov/node/265 (Florestas e clima)
http://ies.lbl.gov/drupal.files/ies.lbl.gov.sandbox/62806.pdf (Melhores práticas industriais)
http://ies.lbl.gov/publications (Publicações)

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. (Brasil)

O INEE é uma organização não-governamental sem fins lucrativos cujo objetivo é promover o aumento da eficiência na transformação e na utilização de todas as modalidades de energia em benefício da economia, do meio ambiente e da maior segurança quanto ao acesso à energia e bem-estar da sociedade. Dentre suas diversas atividades, destacam estudos, publicações, eventos, etc.
Disponível em:
http://www.inee.org.br (Website geral do INEE)
http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia (Eficiência energética)
http://www.inee.org.br/eventos_agenda.asp?Cat=eventos (Eventos, alguns deles com palestras disponibilizadas)

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. (Brasil)

Dentre os diferentes programas brasileiros de rotulagem ambiental, o INMETRO disponibilizou o seu para itens tais como eletrodomésticos e

equipamentos elétricos. Trata-se da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), especialmente criada para oferecer alternativas de escolha ao consumidor da sociedade civil.
Disponível em:
http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp (Programa brasileiro de eficiência energética do INMETRO)

Lawrence Berkeley National Laboratory. (USA)

Diversos websites criados pelo reconhecidamente qualificado Berkeley National Laboratory da Universidade da Califórnia, especializado em temas energéticos, para que, em parceria com o governo norte-americano, possam oferecer um enorme banco de dados sobre uso sustentável e otimização dos recursos energéticos.
Disponível em:
http://www.lbl.gov (Website geral do Berkeley Lab)
http://industrial-energy.lbl.gov (Análise energética industrial)
http://industrial-energy.lbl.gov/publications (Publicações para downloading)
http://ies.lbl.gov (Estudos internacionais)
http://ies.lbl.gov/taxonomy/term/59 (Florestas e mudanças climáticas)
http://industrial-innov.lbl.gov (Inovações industriais)

MME – Ministério de Minas e Energia. (Brasil)

Da forma como costuma acontecer no Brasil, essa página pública do MME é de excelente qualidade e rica em informações para nossos leitores. Visitem e leiam as publicações sobre o plano, o balanço e a matriz energética para o País.
Disponível em:
http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html (Publicações do MME)

NIPE – UNICAMP - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético. (Brasil)

O NIPE da Universidade Estadual de Campinas é um núcleo para realizar e promover pesquisas e eventos, prestar serviços e colaborar através da inovação tecnológica para o aperfeiçoamento do sistema energético em suas diversas vertentes. Tem sido parceiro regular da CNI – Confederação Nacional da Indústria para programas de otimização energética em diversos setores industriais, especialmente o de celulose e papel.
Disponível em:
http://www.nipeunicamp.org.br/site/index.php (Website do NIPE)
http://www.nipeunicamp.org.br/site/documento.php?codigo_pasta=17 (Boletim NIPE Energia)

OEE – Canadian Officce for Energy Efficiency. (Canadá)

Excelente website do governo canadense para promoção da eficiência energética dentro de sua área de recursos naturais.
Disponível em:
http://www.oee.nrcan-rncan.gc.ca/english/index.cfm (Website do OEE Canadá)
http://www.oee.nrcan-rncan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=category&category=13&attr=0 (Produtos ecoeficientes em energia)
http://www.oee.nrcan-rncan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?act=category&category=07&attr=0 (Eficiência energética em setores industriais)
http://www.oee.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/benchmarking/how-to-benchmark.cfm?attr=24 (Como fazer um "benchmarking"?)
http://www.oee.nrcan-rncan.gc.ca/publications/infosource/home/index.cfm?language=english&attr=0 (Publicações)

OSTI – Office for Scientific and Technical Information. (USA)

Entidade do "cluster" do DOE – Department of Energy dos EEUU que tem a missão de abrigar e difundir a inovação tecnológica em busca da sustentabilidade energética.
Disponível em:
http://www.osti.gov (Website do OSTI)
http://www.osti.gov/searchresults/search?query=%22energy+efficiency%22&app=allOSTINEW&collection=ostisearch&interface=1WINDOW&form=%2Fsearch.html&MAXDOCS=250 (Pesquisa no website do OSTI sobre eficiência energética)

PIR/USP – Planejamento Integrado de Recursos Energéticos. (Brasil)

Grupo de estudos da Universidade de São Paulo que tem a meta de otimizar o uso e os custos dos recursos energéticos em algumas regiões do estado de São Paulo. O website disponibiliza inúmeros estudos, publicações acadêmicas e materiais de eventos.
Disponível em:
http://www.seeds.usp.br/pir (Website do PIR)
http://www.seeds.usp.br/pir/download.html (Material para downloading)

PPE – COPPE/UFRJ – Programa de Planejamento Energético. (Brasil)

A COPPE, entidade de ensino e pesquisa da Universidade Federal do Rio de Janeiro, possui diversos grupos altamente qualificados para temas em energia, resultando em inúmeras pesquisas acadêmicas, artigos, teses e livros publicados sobre recursos energéticos.
Disponível em:
http://www.ppe.ufrj.br/ppe.php (Website PEE – COPPE/UFRJ)
http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis.php (Teses e dissertações)

http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/articles.php (Artigos publicados)
http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/books.php#7 (Livros)

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. (Brasil)
Trata-se de um muito reconhecido e eficaz programa brasileiro para otimização dos recursos da eletricidade, coordenado pela Eletrobrás.
Disponível em:
http://www.eletrobras.gov.br/ELB/procel/main.asp (PROCEL)
http://www.eletrobras.com.br/sistemasELB.asp?sistema=acervo (Biblioteca virtual para pesquisas)
http://www.eletrobras.gov.br/ELB/procel/main.asp?TeamID={DCEC23CC-D814-4112-9872-719267EF26BB} (Cursos e palestras)

UNEP – United Nations Environment Programme. (Website global)

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente tem atuação global, com escritórios em diversos países, atendendo os propósitos de se alcançar e promover a sustentabilidade, valendo de ferramentas importantes como rotulagem ambiental, produção mais limpa, ecoeficiência, etc.
Disponível em:
http://www.unep.org (Website geral da UNEP)
http://www.unep.org/publications (Publicações)
http://www.unep.fr/energy/efficiency (DTIE - Division of Technology, Industry, and Economics – Energy Branch)
http://www.uneptie.org/scp (Sustainable production and consumption)
http://62.160.8.20/eetkb (Energy Efficiency Technologies Knowledge Base)
http://www.unep.fr/shared/publications/other/WEBx0072xPA/manual_cdrom/CPlinks/html/Pulp_paperproducts.htm (Produção mais Limpa)

UNIDO – United Nations Industrial Development Organization. (Áustria)

Entidade do sistema das Nações Unidas destinada a promoção do desenvolvimento industrial sustentável. Há muita ênfase em temas ambientais e energéticos, inclusive com atuação fortíssima em programas de P+L – Produção mais Limpa.
Disponível em:
http://www.unido.org/index.php?id=7847 (UNIDO e Energia e Meio Ambiente)
http://www.unido.org/index.php?id=908 (Publicações)
http://www.unido.org/index.php?id=o4545002 (Publicações em Cleaner Production – Produção mais Limpa)

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. (Suiça)

O objetivo do WBCSD é ser catalisador para mudanças em empresas na busca da ecoeficiência e sustentabilidade. Tem forte ênfase em programas de

reduções de desperdícios e eficiência industrial, dentre os quais aqueles envolvendo conservação de energia.
Disponível em:
http://www.wbcsd.org/templates/TemplateWBCSD5/layout.asp?MenuID=1 (Website do WBCSD)
http://www.wbcsd.org/templates/TemplateWBCSD5/layout.asp?type=p&MenuId=NjY&doOpen=1&ClickMenu=LeftMenu (Energia e Clima)
http://www.wbcsd.org/templates/TemplateWBCSD5/layout.asp?type=p&MenuId=Nzk&doOpen=1&ClickMenu=LeftMenu (Indústria de base florestal pelo WBCSD)

Artigos e Textos sobre Aspectos Conceituais da Conservação e Uso Racional da Energia

Energy end-use efficiency. E. Jochem. In: "World energy assessment. Energy and the challenge of sustainability". Chapter 6. 45 pp. Acesso em 15.05.2010:
Disponível em:
http://stone.undp.org/undpweb/seed/wea/pdfs/chapter6.pdf

Forest products technologies: public private partnerships produce R&D results. EERE **-** U.S. DOE – Energy Efficiency and Renewable Energy. 24 pp. Acesso em 14.05.2010:
Disponível em:
http://www1.eere.energy.gov/industry/forest/pdfs/forestsuccesses.pdf

Energy efficiency roadmap. Natural Resources Canada. 08 pp. Acesso em 12.05.2010:
Disponível em:
http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/2003-147/2003-147f.pdf

Eficiência energética na gestão ambiental. O conceito de qualidade da energia. CETESB – Unidade de Energia e Meio Ambiente. 112 pp. Acesso em 12.05.2010:

Disponível em:
http://146.164.33.61/termo/cogeracao/EFICI%caNCIA%20ENERG%c9TICA%20NA%20GEST%c3O%20AMBIENTAL.pdf

Leis da conservação da massa e da energia. G.S. Silva. Centro de Tecnologia. UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Apresentação em PowerPoint: 12 slides. Acesso em 12.05.2010:
Disponível em:
http://www.dee.ufrn.br/~guttembergue/Fundamentos%20da%20Ecologia%20para%20Engenharia/1%AA%20Avalia%E7%E3o/Cap%EDtulo2.Leis%20daConserva%E7%E3o.pdf

Tools for energy efficiency in industrial processes. R. Love; D. Cleland. 11 pp. Acesso em 10.05.2010:
Disponível em:
http://www.nzsses.auckland.ac.nz/conference/2007/papers/LOVE-Tools%20for%20Energy%20Efficiency%20in%20Industrial%20Processes.pdf

Industrial energy efficiency. Interdisciplinary perspectives on the thermodynamic, technical and economic constraints. R.C. McKenna. Tese de Doutorado. University of Bath. 272 pp. (2009)
Disponível em:
http://opus.bath.ac.uk/18066/1/Industrial_Energy_Efficiency_McKenna_030809.pdf

BEN – Balanço Energético Nacional 2009. Ano base 2008. MME – Ministério de Minas e Energia. 276 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2009_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf

Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional. CNI/PROCEL/Eletrobrás. 16 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.abesco.com.br/datarobot/_arqs/downloads/Eficiencia_%20energetica_na_industria.pdf

Modelo para implantação de um programa corporativo de gestão de energia. M.A.G. Camacho. Dissertação de Mestrado. UFCG – Universidade Federal de Campina Grande. 178 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/dissertacao_mario_camacho.pdf

Summary on energy efficiency issues in the BREF series. European IPPC – Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. 39 pp. (2009)
Disponível em:
ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ene_summary_in_bref_series.pdf

Sustainable procurement of wood and paper-based products. WBCSD/WRI. 156 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.sustainableforestprods.org/files/forestguide/Full_procurement_guide_v1.1_final.pdf

Life cycle assessment of products and technologies. H. Koukkari; M. Nors. LCA Symposium. VTT – Technical Research Center of Finland. 146 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2009/S262.pdf

Gestão da eficiência energética. J.M.A. Godoi; S. Oliveira Jr. Advances in Cleaner Production. 11 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/5a/1/J.%20M.%20A.%20Godoi%20-%20Resumo%20Exp.pdf

Assessing measures of energy efficiency performance and their application in industry. K. Tanaka. IEA – Internation Energy Agency. 43 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.iea.org/papers/2008/JPRG_Info_Paper.pdf

Eficiência energética no Brasil. J.I. Akamatsu. Eletrobrás. Apresentação em PowerPoint: 46 slides. (2008)
Disponível em:
http://www.feg.unesp.br/~latqeee/sipeqe/Jania%20Akamatsu%20Eficiencia.ppt

Eficiência energética no Brasil. L. Porto. 5º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética e Cogeração de Energia. Apresentação em PowerPoint: 28 slides. (2008)
Disponível em:
http://www.metodoeventos.com.br/5eficienciaenergetica/downloads/11-06-08/laura.pdf

Towards a sustainable energy future. IEA – International Energy Agency. 60 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.iea.org/G8/2008/G8_Towards_Sustainable_Future.pdf

La eficiencia energética como instrumento del desarrollo sostenible. P. Leonelli. I Seminário Latino Americano y del Caribe para Eficiência Energética. Apresentação em PowerPoint: 24 slides. (2008)
Disponível em:
http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Arquivos/02-Indicadores%20energeticos%20e%20eficiencia%20energetica.ppt

World trends in energy use and efficiency. Energy indicators. IEA – International Energy Agency. 94 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.iea.org/G8/2008/Indicators_2008.pdf

Worldwide trends in energy use and efficiency. Key insights from IEA indicators analysis. IEA – International Energy Agency. 94 pp. (2008)
Disponível em:
https://www.iea.org/Papers/2008/Indicators_2008.pdf

Tracking industrial energy efficiency and CO_2 emissions. IEA – International Energy Agency. 324 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/tracking_emissions.pdf

Forest industry and carbon. Victorian Association of Forest Industries. 22 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.caswellassociates.com/wordpress/wp-content/uploads/2008/08/vafi-forest-industries-and-carbon.pdf

Policies for promoting industrial energy efficiency in developing countries and transition economies. A. McKane; L. Price; S.R. Can. UNIDO/Berkeley National Laboratory. 87 pp. (2007)
Disponível em:
http://industrial-energy.lbl.gov/files/industrial-energy/active/0/ind.energy_efficiency_65693_CSD15_SideEvent_IndustrialEnergyEfficiency.pdf

Handbook for drafting laws on energy efficiency and renewable energy resources. UNEP – United Nations Environment Programme. 246 pp. (2007)
Disponível em:
http://cmsdata.iucn.org/downloads/cel10_ottinger.pdf

O programa brasileiro de eficiência energética industrial: lições aprendidas. V.A. Santos. III CONCIER. 06 pp. (2007)
Disponível em:
http://sg.cier.org.uy/cdi/cier-zeus.nsf/9a95ace4eb1b3e7b032570ad00553202/2BCA5FE17AC1D179832575E60054B574/$FILE/III%20CONCIER-BR-79-C.pdf

Energy technology solutions: public private partnerships transforming industry. USDOE/EERE. 76 pp. (2007)
Disponível em:
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/itp_successes.pdf

Eficiência energética: um desafio estratégico para o MME. Plano Nacional de Energia 2030. M.P. Zimmermann. Apresentação em PowerPoint: 64 slides. (2006)
Disponível em:
http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Aula%204/pne_2030_eficiencia_energetica.pdf

Plano Nacional de Energia 2030. MME – Ministério de Minas e Energia. 244 pp. (2006/2007)
Disponível em:
http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Arquivos/Eficiencia%20energetica%20EPE%20-%2020080512_11.PDF
http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne_2030/PlanoNacionalDeEnergia2030.pdf

A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico. G.J.A. Barja. Dissertação de Mestrado. UNB – Universidade de Brasília. 171 pp. (2006)
Disponível em:
http://146.164.33.61/termo/seminarios09/seminario%20An%e1lise%20t%e9cnica%20e%20econ%f4mica%20para%20sele%e7%e3o%20de%20sistemas%20de%20cogera%e7%e3o%2007.PDF

Energy technologies perspectives. Scenarios and strategies to 2050. IEA – International Energy Agency. 486 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/etp2006.pdf

A eficiência energética e o panorama brasileiro: onde encontrar soluções para a crise de energia? G.C. Silva. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 109 pp. (2005)
Disponível em:
http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Arquivos/A%20eficiencia%20energ%C3%A9tica%20e%20o%20panaroma%20brasileiro.pdf

Managing energy productivity. A competitive pre-requisite. P. Garforth. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Apresentação em PowerPoint: 29 slides. (2005)
Disponível em:
http://www.aceee.org/conf/05ss/05ssgarforth.pdf

Eficiência energética na indústria. C. Gaspar. AGP/CMFG – Portugal. 89 pp. (2004)
Disponível em:
http://146.164.33.61/termo/cogeracao/EficienciaEnergetica%20sapo.pdf

Eficiência energética e uso racional de energia. Estudo de caso. A.L.M. Mesquita; F.M. Franco. Trabalho de Conclusão de Curso. UFG – Universidade Federal de Goiás. 85 pp. (2004)
Disponível em:
http://www.eee.ufg.br/cepf/pff/2003/pf2003_13.pdf

Energy end-users technologies for the 21st century. World Energy Council. 140 pp. (2004)
Disponível em:
http://www.iiasa.ac.at/Research/TNT/WEB/Publications/WEC-21st_screen/WEC-21st_screen.pdf

Novos instrumentos de planejamento energético regional visando o desenvolvimento sustentável. D. Cicone Júnior. USP. Planejamento Integrado de Recursos Energéticos. Apresentação em PowerPoint: 46 slides. (2004)
Disponível em:
http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/apresentacoes_oficina/treinamento_mod03.ppt

Uso racional de energia. J.L. Silveira; P.E.M. Gouvêa. FAENQUIL. 95 pp. (2004)
Disponível em:
http://146.164.33.61/termo/seminarios09/apostila%20energia%20cogeracao%20FAENQUIL.pdf

Estado da arte e tendências tecnológicas para energia. I.C. Macedo. CTEnerg/CGEE. 90 pp. (2003)
Disponível em:
http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/ct_energ/documentos/ct-energ03estado_arte.pdf

Energy efficiency opportunities in the solid wood industry. CIPEC/COFI/CHI – Canadian Industry Program for Energy Conservation. 44 pp. (2001)
Disponível em:
http://oee.nrcan.gc.ca/infosource/pdfs/M27-01-828E.pdf

Potential for industrial energy-efficiency improvement in the long term. J. Beer. Kluwer Academic Publishers. 254 pp. (2000)
Disponível em:
http://books.google.com.br/books?id=aJ6voW0zR9gC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

Manuais e Guias Básicos sobre Conservação de Energia e Eficiência Energética

UNEP CP-EE Manual. Guidelines for the integration of cleaner production and energy efficiency. UNEP – United Nations Environment Programme - Energy Branch. Acesso em 20.05.2010:
http://www.unep.fr/energy/activities/cpee/manual-instructions.htm

Manual de ecoeficiência VCP. Votorantim Celulose e Papel. 46 pp. Acesso em 18.05.2010:
Disponível em:
http://www.vcp.com.br/SustentabilidadeMeioAmbiente/MeioAmbienteX/Ecoeficiencia/Documents/Manual_EcoEficiencia_VCP.pdf

Método de cálculo do balanço térmico de caldeiras. P.C.C. Pinheiro; S.A.A.G. Cerqueira. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. 21 pp. Acesso em 12.05.2010:
Disponível em:
http://www.demec.ufmg.br/professor/paulocpinheiro/papers/balanco.pdf

Energy efficiency. Reference document on best available techniques. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. IPPC/EC. 430 pp. (2009)
Disponível em:
ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ENE_Adopted_02-2009.pdf

Manual de eficiência energética. EOI/Union Fenosa. 334 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.manualeficienciaenergetica.com/pdf/MEE.pdf

Manual para elaboração do programa de eficiência energética. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 65 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/aren2008300_2.pdf

Guia de implementación de sistemas de gestión integral de energia. COLCIENCIAS/UPME. Colômbia. 32 pp. (2008)

Disponível em:
http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Guia/Guia.pdf

Guia de usuário e referência – Combustão industrial e suas emissões atmosféricas. C.D.R. Fernandes. TAA – Térmica. 24 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.termicaautomacao.com.br/downloads/ManualACombE_Rev6.pdf

Guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose. Série P+L. CETESB/ABTCP. 50 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.abtcp.org.br/Arquivos/File/GUIA20P+L.pdf
http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/papel.pdf

Handbook of energy efficiency and renewable energy. F. Kreith; D.Y. Goswami. CRC Press. 1560 pp. (2007)
Disponível em:
http://books.google.com.br/books?id=OfiMKyFV8JIC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

Eficiência energética. Teoria e prática. PROCEL/Eletrobrás/UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. 244 pp. (2007)
Disponível em:
http://146.164.33.61/termo/eficiencia%20Energ/Eficiencia_energetica_Teoria_e_pratica.pdf
http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Arquivos/Eficiencia_energetica_Teoria_e_pratica%5b1%5d.pdf

Energy efficiency guide for industry in Asia. S. Punte; P. Repinski. GERIAP/UNEP. 191 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.roap.unep.org/pub/Energy_Efficiency_Guide_for_Industry_in_Asia.pdf

Energy efficiency techniques. Draft reference document on best available techniques. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. IPPC/EC. 256 pp. (2006)
Disponível em:
http://okolje.arso.gov.si/ippc/bref/20060407_115549_ene_d1_0406.pdf

The pulp and paper energy practice guidebook. Center for Technological Transfer/TAPPI/ U.S. DOE/ Wisconsin Paper Council. 100 pp. (2006)
Disponível índice em:
http://www.tappi.org/oldtappi/content/pdf/bookstore/0101r316.pdf

Manual de eficiência energética na indústria. COPEL – Companhia Paranaense de Energia. 155 pp. (2005)
Disponível em:

http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual/$FILE/manual_eficiencia_energ.pdf

Manual de boas práticas de eficiência energética. BCSD Portugal / Universidade de Coimbra. 51 pp. (2005)
Disponível em:
http://146.164.33.61/termo/eficiencia%20Energ/manual_boas_praticas_EE.pdf

Good housekeeping. Eco-efficient environmental actions. Sustainable Business Associates. 44 pp. (2004)
Disponível em:
http://www.sba-int.ch/spec/sba/download/Tools/GHKGuideEnglish.pdf

Avaliação energética. CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Série Manuais de Produção mais Limpa. 31 pp. (2003)
Disponível em:
http://www.concytec.gob.pe/red-andina/3CDs/CD1/Avalia%E7%E3o%20Energ%E9tica.pdf

Soluções em automação para eficiência energética. F.E. Gomes. Monografia de Conclusão de Curso. UFG – Universidade Federal de Goiás. 130 pp. (2003)
Disponível em:
http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Arquivos/SOLU%C3%87%C3%95ES%20EM%20AUTOMA%C3%87%C3%83O%20PARA%20EFICIENCIA%20ENERG%C3%89TICA.pdf

Pinch analysis: for the efficient use of energy, water and hydrogen. National Resources of Canada. 64 pp. (2003)
Disponível em:
http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/2009-052/2009-052_PM-FAC_404-DEPLOI_e.pdf

Guia Energia. Guia metodológica para la integración del factor energia em la gestión ambiental de las pequeñas y medianas industrias. A. Ruz; R. Calderón. GTZ. 87 pp. (2002)
Disponível em:
http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd25/genergia.pdf

Energy efficiency planning and management guide. CIPEC Canada. 193 pp. (2002)
Disponível em:
http://www.oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/Managementguide_E.pdf

Improving energy efficiency. IEA – International Energy Agency. 15 pp. (2002)
Disponível em:
http://www.iea.org/papers/2002/improving.pdf

CRC Handbook of Energy Efficiency. F. Kreith; R.E. West. CRC. 1113 pp. (1997)
Disponível em:
http://books.google.com.br/books?id=PePq7o6mAbwC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

Control of boilers. S.G. Dukelow. ISA – International Society of Measurement and Control. 412 pp. (1991)
Disponível citação em:
http://www.isa.org/InTechTemplate.cfm?Section=Communities&template=/eCommerce/ProductDisplay.cfm&ProductID=2770
http://www.isa.org/InTechTemplate.cfm?Section=Communities&template=Ecommerce/FileDisplay.cfm&ProductID=2770&file=ACFBA5E.pdf (Preview)

Manual de conservação de energia elétrica na indústria brasileira de papel e celulose. A.J. Valler; K. Harada; P. Vilas Boas. CETESB/ANFPC. 2 Volumes. (1986)
Resumo disponível em:
http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=116643&indexSearch=ID

Improving boiler efficiency. S. Dukelow. ISA – International Society of Measurement and Control. 144 pp. (1985)
Disponível citação em:
http://www.amazon.com/Improving-Boiler-Efficiency-Samuel-Dukelow/dp/0876648529/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=books&qid=1273871535&sr=1-1

Artigos e Textos sobre Aspectos Gerais de Eficiência e Ecoeficiência Energética na Indústria de Papel e Celulose

Energy efficiency and the pulp and paper industry. L.J. Nilsson; E.D. Larson; K. Gilbreath; A. Gupta. ACE3 – American Council for an Energy Efficient Economy. Acesso em 22.05.2010:

Disponível em:
http://www.aceee.org/pubs/ie962.htm

Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry. FAO – Food and Agriculture Organization. Forestry Paper 129. Acesso em 22.05.2010:
Disponível em:
http://www.fao.org/docrep/005/v9933e/V9933E00.htm#TOC

BREF Working Draft in Progress - Pulp and Paper – Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry . The European IPPC – Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. 746 pp. (2010)
Disponível em:
ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/PP_D1_0410.pdf

Forest products industry technology roadmap. G.R. Brown. Agenda 2020 Technology Alliance. 108 pp. (2010)
Disponível em:
http://www.agenda2020.org/PDF/ForestProductsIndustryTechRM-043010.pdf

Pioneiros em política setorial para eficiência energética. M. Faleiros. O Papel (Abril): 26-31. (2010)
Disponível em:
http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1272649375_746ebd75823665bf909070fa33a00c44_1042864042.pdf

Pioneers in sectorial policy for energy efficiency. M. Faleiros. O Papel (Abril): 33-36. (2010)
Disponível em:
http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1272649375_4f76abd20e22db162da7efbde421895f_91864534.pdf

Oportunidades de eficiência energética para a indústria. Relatório setorial: setor papel e celulose. M.D. Berni; S.V. Bajay; F.D. Gorla. CNI – Confederação Nacional da Indústria. 87 pp. (2009)
Disponível através do NIT – Núcleo de Informações Técnicas / ABTCP:
nit@abtcp.org.br

Energy management in kraft pulp mills: the role of process optimization tools. P. Navarri; L. Savulescu; A. Alva-Argaez; A. Hammache. CanmetEnergy. Apresentação em PowerPoint: 21 slides. (2009)
Disponível em:
http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/2009-022/2009-022_PP-PRE_404-IPCEWO_Paptac2009_Navarri.pdf

Forest industry contribution to climate change mitigation. E. Carvalhaes. XIII World Forest Congress. Apresentação em PowerPoint: 29 slides. (2009)
Disponível sumário em:
http://www.cfm2009.org/en/subseccion.asp?IdSeccion=160&IdSubseccion=522

Benchmarking energético na indústria de celulose e papel. (Energy benchmarking in the pulp and paper industry). D.L. Bachmann. O Papel 70(6): 72-76. (2009)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/06_benchmarking%20energ%E9tico%20abtcp.pdf
ou
http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1251302652_2dc24311cf4ab52407de0e6157fa41ac_226896132.pdf

Indústria brasileira de celulose e papel e a de outros países: uma avaliação entre os níveis de emissões e índices de eficiência energética. (Brazilian and other countries pulp and paper industry: an assessment between emission levels and energy efficiency indexes). M.D. Berni; S.V. Bajay; G.M. Jannuzzi; R. Gomes. O Papel 69(11): 87-96. (2008)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/09_compara%E7%F5es%20eficiencia%20energ%E9tica%20por%20berni%20e%20bajay.pdf

Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel. J.C.A. Mieli. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 111 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/3/TDE-2008-02-27T064616Z-996/Publico/texto%20completo.pdf

À procura da eficiência. R. Moraes. O Papel (Agosto): 36-40. (2007)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/16_em%20procura%20da%20efici%EAncia.pdf

Environmental, health, and safety guidelines – Pulp and paper mills. IFC – International Finance Corporation. 31 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_PulpandPaper/$FILE/Final+-+Pulp+and+Paper+Mills.pdf

World best practice energy intensity values for selected industrial sectors. L. Price; C. Galitsky; Z. Nan. Berkeley National Laboratory. 52 pp. (2007)
Disponível em:

http://ies.lbl.gov/iespubs/62806.pdf

Energy trends in selected manufacturing sectors. Opportunities and challenges for environmentally preferable energy outcomes. Section 3.5: Forest products. USEPA/IFC International. 16 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.epa.gov/ispd/pdf/energy/ch3-5.pdf

Benchmarking energy use in Canadian pulp and paper mills. CIPEC/PAPRICAN. 66 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.oee.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/benchmarking/pulp-paper/pdf/benchmark-pulp-paper-e.pdf
e
http://www.oee.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/benchmarking/pulp-paper/index.cfm?attr=24
e
http://www.oee.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/benchmarking/pulp-paper/index.cfm?attr=16

Consumo de energia no setor de celulose e papel. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Nosso Papel nº 07. 02 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/13_consumo%20energia%20setor%20Nosso%20Papel.pdf

Energy and environmental profile of the U.S. pulp and paper industry. Energetics/USDOE. 99 pp. (2005)
Disponível em:
http://www1.eere.energy.gov/industry/forest/pdfs/pulppaper_profile.pdf

The sustainable forest products industry, carbon and climate change. WBCSD/NCASI. 12 p. (2005)
Disponível em:
http://www.wbcsd.org/web/publications/sfpi-cop11.pdf

E.U. eco-label. User's manual for the application for eco-labelling copying and graphic paper. European Comission. Flower Eco-Label. 67 pp. (2003)
Disponível em:
http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/ecolabelled_products/categories/pdf/usermanual_2003.pdf

Energy cost reduction in the pulp and paper industry. An energy benchmarking perspective. D.W. Francis; M.T. Towers; T.C. Browne. CIPEC/PAPRICAN/PAPTAC. 30 pp. (2002)
Disponível em:

http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/pulp-paper-industry/pdf/pulp-paper-industry.pdf

Environmental and energy balances of wood products and substitutes. M. Scharai-Rad; J. Welling. FAO - Food and Agriculture Organization. (2002)
Disponível em:
http://www.fao.org/docrep/004/y3609e/y3609e00.HTM

Steam system opportunity assessment for the pulp and paper, chemical manufacturing and petroleum refining industry. USDOE/EERE. 102 pp. (2002)
Disponível em:
http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/32822CD.zip
e
http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/32822.pdf

E.U. eco-label. User's manual for the application for eco-labelling tissue paper. European Comission. Flower Eco-Label. 39 pp. (2001)
Disponível em:
http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/ecolabelled_products/categories/pdf/tissue/tissue_um_2001.pdf

BREF Pulp and Paper – Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry. The European IPPC – Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. 509 pp. (2001)
Disponível em:
ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ppm_bref_1201.pdf (Versão de Dezembro 2001)
e
http://aida.ineris.fr/bref/brefpap/bref_pap/english/bref_cadres.htm (Outra alternativa para descarregar documento)
e
http://www.ippc-russia.org/public/cluster07/04_Pulp_and_paper.pdf (Outra alternativa para descarregar documento)

A guide to energy savings opportunities in the kraft pulp industry. Simons International/PAPTAC. (1998)
Disponível citação em:
http://catalogue.nrcan.gc.ca/opac/extras/unapi?format=htmlholdings-full;id=tag:open-ils.org,2010:biblio-record_entry/7928125/EMM-CIM-OTTAWA-580

Technology, energy efficiency and environmental externalities in the pulp and paper industry. B. Mohanty. Asian Institute of Technology. 140 pp. (1997)
Disponível em:
http://www.faculty.ait.ac.th/visu/SMI_Roadmap/Publications/Project_Publications/ARRPEEC1/Technology_Energy_%20Envi_%20Externalities_in_Pulp_paper.pdf

A changing future for paper. Towards a sustainable paper cycle. D. Knight. WBCSD / IIED. 36 pp. (1996)
Disponível em:
http://www.wbcsd.org/DocRoot/0KT94DCD0JMKDTaYmccj/paper-future.pdf

Diagnóstico energético. Y.B.S. Gerschkovitch; V.R. Hilbert; V. Klein; C.A.D. Lueska. O Papel (Setembro): 30-33. (1994)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/14_diagn%F3stico%20energ%E9tico%20revista%20o%20papel.pdf

Otimização energética e ambiental aplicando processos de reciclagem. P. Correia; M. Berni; M. Athayde. 26º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 12 pp. (1993)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/21_otimiza%E7%E3o%20energ%E9tica%20via%20reciclagem%20papel.pdf

Energia, industrialização e exportações: análise dos setores metalúrgico e papel & celulose. M.D. Berni. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 216 pp. (1993)
Disponível em:
http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000069812

Uso racional de energia em plantas de papel e celulose. S.S. Gomes. 25º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (1992)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/19_uso%20racional%20da%20energia.pdf

Energy engineering and management in the pulp and paper industry. M. Coleman. TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 706 pp. (1991)
Disponível citação em:
http://books.google.com/books?id=1j6lAAAACAAJ&source=gbs_book_other_versions

Gerenciamento energético. C. Moreno; T. Plazzi. 21º Congresso ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 587-599. (1988)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10_gerenciamento%20energ%E9tico%20na%20cenibra.pdf

Energy efficiency in the pulp and paper industry with emphasis on developing countries. A.J. Ewing. World Bank Technical Paper nº. 34. 91 pp. (1985)

Disponível citação em:
http://openlibrary.org/books/OL3023013M/Energy_efficiency_in_the_pulp_and_paper_industry_with_emphasis_on_developing_countries

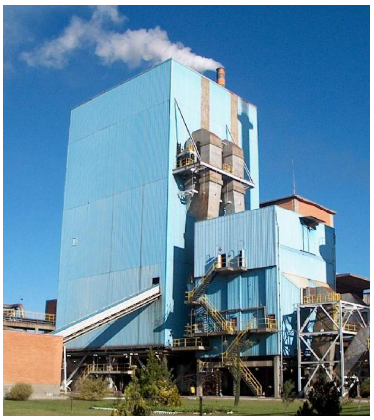
Energy input analyses in the pulp and paper industry. J. Nygaard; B. Nord. 134 pp. (1984)
Disponível citação em:
http://openlibrary.org/books/OL14656537M/Energy_input_analyses_in_the_pulp_and_paper_industry

Energy audits in the pulp and paper industry. J. Nygaard. 150 pp. (1984)
Disponível citação em:
http://openlibrary.org/books/OL14656538M/Energy_audits_in_the_pulp_and_paper_industry

Ahorro de energia eléctrica en motores. C. Artal; E. Reinoso. 16º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel 3: 831-845. (1983)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/01_ahorro%20energia%20el%E9trica%20em%20motores.pdf

Energy management and conservation in pulp and paper mills: A collection of articles from pulp & paper. M. Coleman. Miller Freeman. (1981)
Disponível citação em:
http://www.filedby.com/unclaimed_author/inc_staff_miller_freeman_publications/969212/works/3609050/Energy_Management_and_Conservation_in_Pulp_and_Paper_Mills

Las economias de energia en la industria papelera. Cátedra de Tecnología Papelera de Terrassa. Universidade de Catalunya. 346 pp. (1979)
Disponível citação em:
http://ccuc.cbuc.cat:2082/search~S23*cat?/dEnergia+--+Planificaci%7Bu00F3%7D+--+Andorra/denergia+planificacio+andorra/-3%2C-1%2C0%2CE/frameset&FF=denergia+paper+fabricacio&1%2C1%2C



Artigos e Textos sobre Aspectos Tipicamente Operacionais e Tecnológicos do Setor de Celulose e Papel em Relação à Conservação e Uso Racional de Energia

Indicadores para máquinas de papel: uma referência de desempenho. E.C. Ebeling; D.L. Bachmann. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. Acesso em 23.05.2010:
Disponível em:
http://www.abtcp.org.br/arquivos/File/indicadores_maquinas_papel.pdf

Energy savings in the tissue production process; the case of the Hayat tissue mill in Turkey. A. Isiklar; L. Aydin; D. Mainardi; O. Lopez. TAPPSA Technical Papers. Acesso em 22.05.2010:
Disponível em:
http://tappsa.co.za/archive3/Journal_papers/Energy_Savings_In_Turkey/energy_savings_in_turkey.html

Energy savings: the profit opportunity is yours. ABB Pulp & Paper. 16 pp. Acesso em 12.05.2010:
Disponível em:
http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/06a020103120d7ecc125765400321969/$file/Energy+savings+P&P.pdf

Paper machine press sections. Metso Paper. 16 pp. Acesso em 10.05.2009:
Disponível em:
http://www.metso.com/MP/Marketing/mpv2store.nsf/BYWID/WID-051219-2256E-9A525/$File/Press_sections_PBL.pdf?openElement

Improving the energy efficiency. E. Masanet; E. Worrell; T. Tunnessen. Paper 360º (Jan/Fev): 14-16. (2010)
Disponível em:
http://www.nxtbook.com/nxtbooks/naylor/PPIS0110/index.php?startid=5#/14

Energy efficiency opportunities in the U.S. pulp and paper industry. K.J. Kramer. Berkeley National Laboratory. 19 pp. (2010)
Disponível em:
http://www.escholarship.org/uc/item/82m148b2

O potencial de eficiência energética na indústria de celulose e papel: uma oportunidade competitiva e fonte de suprimento. S.V. Bajay; M.D. Berni. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 13 slides. (2010)
Disponível em:
http://www.abtcp.org.br/arquivos/File/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20CNI_ABTCP.pdf
ou por solicitação a nit@abtcp.org.br

The energy efficient pulp mill. Today and in the future. B.S. Persson. 42º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 13 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/23_energy%20efficient%20pulp%20mill.pdf

Paper machine energy upgrades. Energy audits and savings. Voith Paper. Apresentação em PowerPoint: 20 slides. (2009)
Disponível em:
http://www.lakestates.org/Downloads/Energy_Meeting_09/10%20Voith%20-%20Paper%20Machine%20Energy%20Audits.pdf

Energy reduction: an ongoing process at Metso. Metso. Tissue World Magazine. Abril/Maio. (2009)
Disponível em:
http://www..tissueworldmagazine.com/09AprMay/tech2.php

Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the pulp and paper industry. An Energy Star guide for energy ad plant managers. K.J. Kramer; E. Masanet; T. Xu; E. Worrell. Berkeley National Laboratory. 176 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf

Otimização energética no processo de secagem. Máquina de papel. G.L. Romano; R.R. Arantes; G.G. Bezerra. 42º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 12 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/22_otimiza%E7%E3o%20energ%E9tica%20m%E1quina%20secagem.pdf

Boiler efficient projects. R. Tornek; S.D. Messner. California Action Climate Registry. 51 pp. (2009)
Disponível em:
http://www.climateactionreserve.org/wp-content/uploads/2009/03/future-protocol-development_boiler-efficiency.pdf

Análise energética em refinação de baixa consistência de celulose de madeira de conífera. (Energy analysis in low consistency refining of softwood pulp). T. Lundin; F. Wurlitzer; S.W. Park; P. Fardim. O Papel 70(10): 41-60. (2009)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/02_an%E1lise%20refina%E7%E3o%20polpa%20softwood.pdf
ou
http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1255714104_0111250831cbcd4ef3262f525e90adce_640059008.pdf

Ciclo de recuperação x eficiência energética. J.C.T. Ribeiro. O Papel (Dezembro): 24-25. (2008)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/32_recupera%E7%E3o%20do%20licor%20e%20eficiencia%20energ%E9tica.pdf
ou
http://www.abtcp.com.br/arquivos/File/REPORTAGEM%20CAPA%20ART%201.pdf

How does your papermachine rank? D. Reese. Paper 360º (Agosto): 22-24. (2008)
Disponível em:
http://www.tappi.org/Publications/Paper-360/Archive.aspx

Perspectivas para geração de energia elétrica no segmento de papel e celulose brasileiro. S.M. Velázquez; S.T. Coelho. V CIADICYP. 10 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.riadicyp.org.ar/downloads/ciadi2008/energia%20alternativa03.pdf

Energy consumption reduction in tissue drying methodology. D. Mainardi. 41º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/33_redu%E7%E3o%20energia%20em%20tissue%20drying.pdf

Ahorro de energia en la industria del papel. J.C. Campos et al. COLCIENCIAS/UPME/Colômbia. 18 pp. (2008)
Disponível em:

http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/papel.pdf

Energia: oportunidades e desafios. Setor de papel e celulose. J.O. Santos. Conferência sobre Eficiência Energética e Competitividade. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (2008)
Disponível em:
http://www.ekosbrasil.org/anexos/EE/20%20Oscival%20dos%20Santos%20port_mk.pdf

Estudo exergético do sistema de vapor de uma indústria de celulose. J.V.H. d'Angelo. 41º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/18_estudo%20energ%E9tico%20sistema%20vapor.pdf

Estudo sobre cogeração de energia no processo produtivo do papel. S. Almeida. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 35 pp. (2008)
Disponível em:
http://146.164.33.61/termo/Regras%20trabalhos%2008/Trabalho%20retscreen%20cogeracao%20industria%20do%20papel%20082.pdf

Ecoeficiência e produção mais limpa para a indústria de celulose e papel de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 09. 86 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT09_ecoeficiencia.pdf

Oportunidades para ecoeficácia, ecoeficiência e produção mais limpa na fabricação de celulose kraft de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 10. 92 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT10_ecoeficiencia.pdf

Mil e uma maneiras de fazer sua fábrica de celulose e/ou de papel e sua floresta plantada mais ecoeficazes e mais ecoeficientes. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 12. 125 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT12_P%2BL_final.pdf

Ecoeficiência na gestão das perdas de fibras de celulose e do refugo gerado na fabricação do papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 06. 97 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf

Análise de benefícios sócio-ambientais e energéticos com a substituição de uma caldeira de recuperação química em uma

indústria de celulose e papel. F.H.C. Costa. Dissertação de Mestrado. Universidade de Taubaté. 86 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.unitau.br/cursos/pos-graduacao/mestrado/engenharia-mecanica/dissertacoes/2007/FABIO_HENRIQUE_LUCAS_DA_COSTA.pdf

Processo kraft. H. Gonçalves; P. Carapina; R. Silva; S. Freitas; A. Martins. Unidade de Aveiro. Departamento de Engenharia Química. (2007)
Disponível em partes:
http://anteprojectogrupo4.no.sapo.pt/preliminar.pdf (Estudo preliminar de uma unidade de produção de pasta branca para papel – processo kraft)
http://anteprojectogrupo4.no.sapo.pt/previabilidade.pdf (Planta de evaporação e caldeira de recuperação)
http://anteprojectogrupo4.no.sapo.pt/Estudo%20viabilidade.pdf (Estudo de viabilidade de modernizações em fábrica de celulose kraft)

Indústria de papel e celulose: estado-da-arte das tecnologias de cogeração de energia. M.C. Barbeli. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia 3(3): 107-122. (2007)
Disponível em:
http://sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcext/article/viewFile/420/416

Possibilidades e perspectivas do uso de cogeração de energia no setor de papel e celulose no Brasil. M.C. Barbeli. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia 2(2): 68-76. (2007)
Disponível em:
http://sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcext/article/view/402/402

Energy efficient solutions in fiberline technology. J. Vehmaa; O. Pikka. Paperi ja Puu – Paper and Timber 89(4): 225-229. (2007)
Disponível resumo em:
http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=18881761

La energia em la indústria papelera. C. Reinoso. ASPAPEL. Oficina Papelera de Girona. CIADICYP/RIADICYP. 16 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.riadicyp.org.ar/images/stories/Girona/18reinosociadicyp2007.pdf

Pulp and paper industry. Energy bandwith study. R. Kinstrey; D. E. White. Jacobs/IPST. 29 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.lakestates.org/Downloads/Bob%20Kinstrey%20paper.pdf

Pulp and paper industry. Energy bandwith study. R. Kinstrey; D. White. TAPPI/Georgia Tech. Apresentação em PowerPoint: 26 slides. (2007)
Disponível em:
http://www.lakestates.org/Downloads/Bob%20Kinstrey.pdf

Pulp and paper industry. Energy bandwith study. Full Report. R. Kinstrey; D. E. White. Jacobs/IPST. 116 pp. (2006)
Disponível em:
http://www1.eere.energy.gov/industry/forest/pdfs/doe_bandwidth.pdf

Energy use, technologies and CO_2 emissions in the pulp and paper industry. D. Gielen; C. Tam. IEA – International Energy Agency. 18 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.iea.org/work/2006/pulppaper/discussion_paper.pdf

Perspectivas para a geração de excedentes de energia elétrica no segmento de papel e celulose com a utilização de sistemas de gaseificação/turbina a gás. S.M.S.G. Velázquez. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 263 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=30670

Tratamento mecânico de fibra curta de eucalipto utilizando discos de refino com maior comprimento efetivo de corte. 38º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2005)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2008_Finebar%20VCP%20ABTCP%202005.pdf

Department of Energy Resources to make paper mills more energy efficient. P. Scheihing. TAPPI Paper Industry Energy Symposium. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. (2005)
Disponível em:
http://www1.eere.energy.gov/industry/forest/pdfs/tappi_presentation.pdf

Análise de dados e parâmetros operacionais para avaliação de um sistema de evaporação múltiplo efeito do processo kraft. G.A.A. Costa; M. Cardoso; S.W. Park; H.S.M. Brandão. 37º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 12 pp. (2004)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/26_otimiza%E7%E3o%20energ%E9tica%20evapora%E7%E3o.pdf

Improving energy efficiency in the forest products industry. E. Fouche; S. Banerjee. TAPPI Journal 3(11): 24-26. (2004)
Resumo disponível em:
http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=16244486

Energy conservation opportunities in the pulp and paper industry. An Illinois case study. M.J. Chimack; C.E. Walker; R. Miller. ACEEE Pulp & Paper. 13 pp. (2003)
Disponível em:
http://www.erc.uic.edu/docs/ACEEE-Pulp-Paper_2003.pdf

Georgia Pacific Palatka plant uses thermal pinch analysis and evaluates water reduction in plant-wide energy assessment. EERE-OIT. Office of Industrial Technologies. Best Practices Assessment Case Studies. 08 pp. (2002)
Disponível em:
http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/fp_cs_georgia_pacific.pdf

Benefícios latentes em sistemas de vapor e condensado para máquina de papel. A.H. Mendes. O Papel (Março): 97-102. (2002)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/25_m%E1quinas%20papel%20vapor%20e%20condensados.pdf

Aplicações da cogeração no setor de papel e celulose. A. López; J. la Calle; M. Fontes. O Papel (Janeiro): 67-72. (2001)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/08_cogera%E7%E3o%20no%20setor%20papel%20e%20celulose.pdf

Determinación de la eficiencia energética del subsector industrial de pulpa y papel. UPME/Colômbia. 18 pp. (2001)
Disponível em:
http://www.upme.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/ure/estudios/EstudiosEficiencia_PapelPulpa.pdf

Sustentabilidade ambiental e geração de energia na indústria de papel com o uso de reator anaeróbico no tratamento de efluentes. M.D. Berni; S.V. Bajay. 34º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (2001)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/36_tratamentos%20anaer%F3bicos%20para%20gera%E7%E3o%20metano.pdf

Opportunities to improve energy efficiency in the U.S. pulp and paper industry. E. Worrell; N. Martin; N. Anglani; D. Einstein; M. Khrushch; L. Price. Berkeley National Laboratory. 15 pp. (2001)
Disponível em:
http://ies.lbl.gov/iespubs/48353.pdf

Recovery boiler performance calculation. TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Technical Information Paper TIP 0416-01. (2001)
Disponível citação em:
http://www.tappi.org/Bookstore/Standards--TIPs/TIPs/Engineering/Recovery-boiler-performance-calculation-%e2%80%a2-short-form-Technical-Information-Paper-TIP-0416-01.aspx

Improving of pulp mill energy efficiency in an integrated pulp and paper mill. L. Kilponen; P. Ahtila; J. Parpala; M. Pihko. Helsinki University of Technology. 26 pp. (2000)
Disponível em:
http://users.tkk.fi/lkilpone/Pulp%20mill%20energy%20efficiency.pdf

A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética do Brasil. S.M.S.G. Velázquez. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica USP. 199 pp. (2000)
Dados disponíveis em:
http://meusite.mackenzie.com.br/velazquez
http://meusite.mackenzie.com.br/velazquez/curriculum.html

Geração de energia e a digestão anaeróbica no tratamento de efluentes: estudo-de-caso na indústria de papel. M.D. Berni; S.V. Bajay. 3º Encontro de Energia no Meio Rural. (2000)
Disponível em:
http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100003&script=sci_arttext

Fibras secundárias e a sustentabilidade energética e ambiental da indústria de papel. S.V. Bajay; M.D. Berni. I CIADICYP. 09 pp. (2000)
Disponível em:
http://ciadicyp.unam.edu.ar/trabajos/trabajos/varios/Donizeti-96-UEC-Br.pdf

Otimização das seções formadora e de prensas úmidas da máquina de papel. L. Känge. O Papel (Maio): 43-45. (2000)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/30_otimiza%E7%E3o%20se%E7%E3o%20forma%E7%E3o%20e%20prensagem%20papel.pdf

Carbon emissions reduction potential in the U.S. chemical and pulp and paper industries by applying CHP technologies. M. Krushch; E. Worrell; L. Price; N. Martin; D. Einstein. Berkeley National Laboratoty. 16 pp. (1999)
Disponível em:
https://ww.energystar.gov/ia/business/industry/EmReds.pdf

e
http://www.aceee.org/industry/Resources/khrushch.pdf

A cogeração de eletricidade no setor de papel e celulose. Avaliação técnica e econômica. S.M.S.G. Vélazquéz; S.T. Coelho; A. Varkulya Jr. 15º COBEM 88. (1999)
Disponível em:
http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/COBEM99-final.pdf

Analise da unidade de recuperação do licor negro de eucalipto no processo "Kraft", avaliando alternativas de processamento. M. Cardoso. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 171 pp. (1998)
Disponível em:
http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000186792

Aumento do poder calorífico do licor através da purga de cinzas da caldeira de recuperação. C. Augusto; N.V. Domancich; C.A. Santos. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (1997)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/31_poder%20calorifico%20licor%20preto%20e%20purga%20de%20cinzas.pdf

Auto-geração de energia no setor de celulose e papel. H.L.A. Batista. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (1997)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/05_auto%20produ%E7%E3o%20energia%20por%20humberto%20batista.pdf

Cleaner production audit in the pulp and paper industry: a case study in Vietnam. V.T. Anh. Dissertação de Mestrado. Asian Institute of Technology. 98 pp. (1996)
Disponível em:
http://www.faculty.ait.ac.th/visu/data/AIT-Thesis/Master%20Thesis%20final/Tuong%20pdf%2096.pdf

Otimização do uso de energia em fábricas de pequeno e médio porte. M. Molina. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 75 pp. (1996)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/20_%20otimiza%E7%E3o%20consumo%20energia%20f%E1bricas%20pequenas%20m%E9dias.pdf

Estudo energético e econômico de um sistema de cogeração associado à indústria de celulose. J.L. Silveira. O Papel (Fevereiro): 47-51. (1994)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/17_estudo%20energ%E9tico%20cogera%E7%E3o.pdf

Conceitos atuais e futuros sobre auto-geração de energia em fábricas de celulose. W. Adelmann. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 50 pp. (1992)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/04_auto%20gera%E7%E3o%20de%20energia.pdf

Análise técnica da seção de secagem. M.E. Bressani. 24º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 667-684. (1991)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_an%E1lise%20t%E9cnica%20secagem%20folha.pdf

Análise de auto-suficiência e excedentes em indústria de papel e celulose empregando turbina de condensação e extração. J.L. Silveira; J.A.P. Balestieri. 23º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 765-775. (1990)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/37_turbinas%20de%20vapor.pdf

Economia de energia através de isolamento térmico de equipamentos e tubulações. A.N. Pacini. 21º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 571-585. (1988)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/24_isolamentos.pdf

Cogeração: uma alternativa para o abastecimento de energia elétrica nas fábricas de papel e celulose. C.L. Jorquera. 20º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 165-171. (1987)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07_cogera%E7%E3o%20jorquera.pdf

Otimização energética de caldeira a lenha através da pré-secagem de cavacos utilizando gases efluentes da combustão. R.A. Peixoto; L. Amaral Jr. 19º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 381-401. (1986)
Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/34_secagem%20biomassa%20para%20caldeira%20for%E7a.pdf

Otimização de sistemas de evaporação através da simulação de evaporadores de múltiplo efeito. J.M.M. Leites; M.A.S. Paiva. 19º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 277-292. (1986)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/28_otimiza%E7%E3o%20evaporadores%20por%20simula%E7%E3o.pdf

Balanços de calor e massa no desempenho operacional da caldeira de recuperação. A.S. Medeiros; C.E.B. Foelkel. 19º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 277-292. (1986)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/29_balan%E7os%20caldeira%20recupera%E7%E3o.pdf
e
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1986.%20balan%E7os%20calor%20e%20massa%20caldeira.pdf

Manual de conservação de energia elétrica na indústria brasileira de papel e celulose. Parte I – Gerenciamento da conta de energia elétrica. A.J. Valler; K. Harada. ANFPC – Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose. 28 pp. (1886)
Consultar biblioteca Celso Foelkel via celso@abtcp.org.br:
http://www.celso-foelkel.com.br

Conservação de energia na indústria de celulose e papel. Manual de recomendações. A. Bonomi; A.F. Lima; J.H.F. Pinto; R.J. Sant'Anna; S. Hochgreb; S.W. Park. Centro Técnico em Celulose e Papel. IPT/SP. 2 volumes. 493 pp. (1985)
Sugestão - consultar Dr. Song Won Park:
http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.jsp?id=B553924

Otimização estatística de sistema de evaporação a múltiplos efeitos. A.S. Medeiros; C.E.B. Foelkel; S. Zornitta. 18º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel 1: 299-327. (1985)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/27_otimiza%E7%E3o%20evapora%E7%E3o%20ari%20medeiros.pdf

Economia térmica na máquina de papel. C. Martins. 17º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel 2: 741-756. (1984)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/15_economia%20t%E9rmica%20m%E1quina%20papel.pdf

Variáveis operacionais que afetam o consumo de combustíveis no forno de cal. A.F. Lima; S.W. Park; L.M. Yojo. 16º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel 3: 865-876. (1983)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/38_vari%E1veis%20que%20afetam%20consumos%20combust%EDvel%20forno%20de%20cal.pdf

Um esquema de metodologia de otimização por modelagem matemática de um digestor contínuo Kamyr. M.A.L. Martins; C.E.B. Foelkel. 14º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 35 pp. (1981)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1981.%20digestor%20por%20marco%20aur%E9lio.pdf

Considerações sobre o uso de energia em projetos de máquinas de papel. D.A. Ely. 13º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 125-132. (1980)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/11_conserva%E7%E3o%20energia%20em%20m%E1quinas%20papel.pdf

Considerações sobre os conceitos de conservação de energia relacionados às operações de prensagem e secagem. M. Mantau; A.P. Maluenda. 13º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 211-218. (1980)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/12_conserva%E7%E3o%20energia%20se%E7%E3o%20prensagem%20e%20secagem%20papel.pdf

Serragem de madeira ao forno de cal: uma opção para economia de energia. C.A. Busnardo; P.E.D. Varante; F.R. Barreto Neto; W.E. Luders; A.L. Raffin; F. Puig; C.E.B. Foelkel. 13º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 225-237. (1980)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/35_serragem%20madeira%20ao%20forno%20de%20cal%20busnardo.pdf

Manual de recomendações para um programa de redução de consumo de energia na indústria de celulose e papel. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 3 volumes. 254 pp. (1978)
Consultar biblioteca Celso Foelkel via celso@abtcp.org.br:
http://www.celso-foelkel.com.br

==========