

Lignina extraída do licor negro pode gerar produtos valiosos, como fibra de carbono

# Biorrefinaria industrial

*Os atuais parques fabris do setor estão aptos a colocar os conceitos em prática ou ainda não comportam tamanho sonho de sustentabilidade?*

Por Caroline Martin

**E**m tempos de crescente preocupação sobre o aumento dos preços dos combustíveis, emissões de gases de efeito estufa e escassez de petróleo, fortalece-se o interesse por tecnologias que visam à produção sustentável de energia e geração de combustíveis a partir de fontes renováveis. Nesse contexto, o conceito de biorrefinaria desponta como aposta promissora a diversos segmentos – e não sem motivos: sua oferta de possibilidades parece infinita e caminha a passos largos rumo à aplicação prática em diversos países, onde as pesquisas já saíram dos laboratórios para adentrar o mundo corporativo de negócios.

O que vem a ser, efetivamente, uma biorrefinaria? “A infraestrutura de uma usina de biorrefinaria integra processos produtivos de combustíveis e produtos químicos

a partir de biomassa. Isso permite o uso eficiente de todo o potencial das matérias-primas, aliando geração de energia a fabricação de uma ampla gama de produtos de alto valor agregado”, define Maria Cristina Area, diretora do Programa de Celulose e Papel (PROCYP), da Universidade Nacional de Misiones, na Argentina.

Atenta ao potencial próprio que tem para colocar usinas de biorrefinaria em funcionamento, a indústria de celulose e papel torna esse tema cada vez mais presente em suas fábricas – na área de Pesquisa e Desenvolvimento, por exemplo, já tem lugar cativo. “Nos Estados Unidos, no Brasil, e, particularmente, na Europa, a biorrefinaria tem experimentado um desenvolvimento progressivo ao longo dos últimos 15 anos”, confirma Maria Cristina.

Segundo ela, o método de biorrefinaria nas fábricas de celulose assemelha-se ao das refinarias de petróleo, que produzem múltiplos tipos de combustíveis e produtos. A diretora do PROCYP explica que com matérias-primas fibrosas (e mediante conversões química, termoquímica e biológica da biomassa) é possível obter produtos químicos, plásticos, etanol, biogás, energia, carbono e uma série de outros combustíveis.

Embora ainda não haja nenhum modelo de usina de biorrefinaria integrado a fábricas de celulose e papel, é grande o número de empresas espalhadas pelo mundo que investem na aplicação industrial dos conhecimentos adquiridos em estudos. Entre os países que abrigam plantas piloto e unidades de demonstração a partir de matérias-primas lignocelulósicas, Maria Cristina cita a Áustria, a Dinamarca, a França, a Alemanha, o Canadá e a Irlanda.

Para o gerente geral de Tecnologia da Fibria Celulose, Ergilio Claudio-da-Silva Jr., os atuais parques fabris do setor já podem ser considerados usinas de biorrefinaria, dependendo da área em questão. “Fábricas modernas de celulo-

BANCO DE IMAGENS ABTOP



### **Para Claudio-da-Silva Jr., os atuais parques fabris do setor já aplicam conceitos de biorrefinaria**

se já exportam sua energia excedente”, exemplifica. Ainda sobre geração de energia, Claudio-da-Silva Jr. acredita que o aprimoramento progressivo da eficiência energética é uma tendência para as futuras plantas do setor.

Segundo Maria Cristina, muito esforço foi necessário para que os processos de fabricação de polpa celulósica reduzissem sua dependência de gás e petróleo. A conquista foi obtida a partir do incremento na geração de energia por meio da queima de resí-

duos florestais e do licor negro kraft. Os avanços obtidos até o momento comprovam que não falta potencial para ampliar a produção de energia elétrica paralela ao processo produtivo de celulose e papel. “Hoje, as caldeiras de recuperação das fábricas mais modernas conseguem gerar de 30% a 35% de energia elétrica para a rede. Partindo para a gaseificação de biomassa, esse valor aumentaria ainda mais”, cita Jorge Luiz Colodette, engenheiro florestal e professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

A alternativa tecnológica citada por Colodette já existe. Especula-se que os *start ups* anunciados para os próximos anos já contemplem o uso de gaseificadores de resíduos de madeira voltados à geração de energia. A transição, porém, soma alguns aspectos desafiadores, a exemplo da baixa lucratividade da queima de biomassa para a finalidade de gerar energia. Além de rentável, o modelo atual é ambientalmente vantajoso. “Por isso, não creio que a substituição já seja feita nas fábricas que estão por vir”, opina Maria Cristina. “As fábricas devem manter os moldes atuais e, talvez, incluam alguns detalhes tecnológicos, como a gaseificação de biomassa”, concorda Colodette.

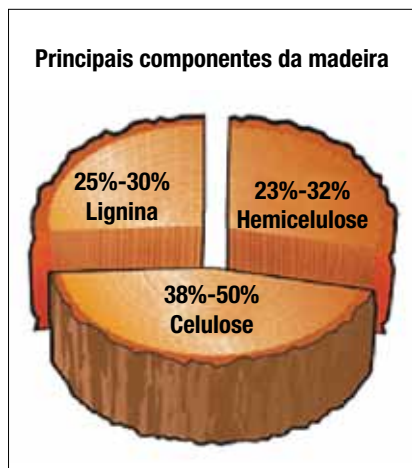
Apesar de bem encaminhada nes-



GRAU CELSUS/CELSO FOELKEL

**“Quanto mais olhamos detalhadamente para a madeira, mais componentes úteis encontramos”, diz Hamaguchi, da LUT**

se quesito, a indústria papelreira não limita suas pesquisas à bioenergia. O enfoque dos estudos atuais se dirige à busca de alternativas para desconstruir a madeira em seus componentes principais: celulose, hemiceluloses e lignina. Afinal, são eles que escondem as diversas oportunidades da biorrefinaria. “Quanto mais olhamos detalhadamente para a madeira, mais componentes úteis encontramos”, diz Marcelo Hamaguchi, pesquisador do Departamento de Tecnologia de Energia e Meio Ambiente, da Universidade de Tecnologia de Lappeenranta (LUT), na Finlândia.



## CELULOSE

A celulose responde pela maior parte da composição da madeira, representando, em média, de 38% a 50% do todo. Dela busca-se extrair o etanol celulósico e outros produtos com uma gama enorme de aplicabilidade, especialmente na indústria de compósitos. Entre esses últimos exemplos, destaque para os nanocristais de celulose microfibrilada. “Os cristais de celulose têm alta resistência e, por isso, são úteis à produção de materiais que exigem tal qualidade”, pontua Colodette.

Segundo o professor da UFV, a região cristalina representa cerca de 70% da celulose total. Parece muito? Na prática, significa que, para obter 250 kg de nanocristais, seria necessário usar uma tonelada de madeira. “Quanto

mais baixo o rendimento, maior valor agregado o produto deve ter”, reforça Colodette sobre o entrave à viabilidade comercial. A solução para o gargalo se traduz na descoberta de aplicações e mercados para a nanocelulose.

O empecilho atual é o mesmo encontrado na produção de outros bioproductos. Claudio-da-Silva, da Fibria, afirma que os mercados disponíveis para a comercialização de produtos alternativos ainda emperram os investimentos em tais tecnologias. “É o ritmo natural da indústria: o mercado precisa se desenvolver em termos de volume para viabilizar a produção.”

O etanol celulósico, por sua vez, renderia um capítulo à parte. A demanda por etanol de segunda geração (produzido a partir dos açúcares liberados da parede celular do bagaço e da palha da cana-de-açúcar) já está consolidada, assim como a técnica para sua obtenção. São outros, contudo, os fatores que inviabilizam a produção industrial pelo setor de celulose e papel.

O primeiro deles está no fato de o desenvolvimento das pesquisas ser mais favorável às próprias empresas do setor energético. “A indústria sucroalcooleira tem mais de 35 anos de tradição na produção de etanol de primeira geração, o que torna o ambiente mais propício para baratear o custo do etanol de segunda geração e, principalmente, para integrar o novo processo ao já existente”, justifica Marco Aurélio Pinheiro Lima, diretor do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE).

O Programa Industrial do CTBE segue justamente na direção de viabilizar a produção industrial de etanol de segunda geração. Para tal, uma Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP) foi planejada com o intuito de testar diferentes rotas de produção de etanol celulósico em um ambiente que represente a realidade industrial. “Visamos encurtar o caminho entre o laboratório e a indústria com a realização de experimentos em escalas variadas”, ressalta Lima.

Os equipamentos da PPDP já foram comprados e, até o final do semestre, serão montados. “De acordo com o planejamento, a planta deve funcionar integralmente até o final deste ano”, completa Lima sobre a plataforma instalada no CTBE, localizado em Campinas (SP).

A princípio, a cana-de-açúcar é o foco central do laboratório, “mas muitos dos desafios para separar a celulose, a hemicelulose e a lignina da cana são os mesmos encontrados em outras árvores”, afirma o diretor do CTBE. Na opinião de Lima, o avanço nessas pesquisas reflete também o desenvolvimento do etanol produzido a partir de outras biomassas. “Qualquer setor que tiver excesso de biomassa tem potencial para produzir bioetanol”, acredita.

Não à toa, o setor de celulose e papel está atento ao assunto. “No Chile, temos parceria com um consórcio de fábricas e universidades com interesse de transformar em etanol as sobras da indústria de celulose. A intenção é fazer um intercâmbio de informações sobre o que estamos aprendendo com cana-de-açúcar e o que eles aprenderão com eucalipto”, revela Lima.

Em território nacional, o CTBE ainda não firmou nenhum tipo de parceria com empresas do setor de celulose e papel. “Atualmente, não há demanda para a indústria papelreira buscar alternativas para a produção industrial de etanol de segunda geração, já que a cana vem dando conta do recado”, comenta o diretor.

O professor do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Song Won Park, tem visão semelhante sobre a entrada da indústria brasileira na produção de etanol. “As fábricas brasileiras de celulose farão muita prospecção sobre biorrefinaria, mas dificilmente assumirão a liderança no assunto. Países que não têm petróleo, como os europeus e o Canadá, devem correr na frente”, opina. “Apenas as empresas de celulose que perderam

competitividade mundial estão pensando em efetivar sua transformação em biorrefinaria no momento”, diz ele, completando o ponto de vista.

Uma futura parceria entre o setor papelero e o CTBE, no entanto, não é descartada por Lima. Ele considera interessante que o etanol não seja uma *commodity* de poucos países, como o petróleo, e limitada a certos segmentos. A aposta é a seguinte: quando o conceito do etanol de segunda geração feito com cana-de-açúcar estiver consolidado, o caminho para produzi-lo com as mais diversas biomassas será mais curto. “Todos os países serão capazes de produzir biocombustível, cada um com sua especificidade. O clima favorável e a experiência prévia darão ao Brasil vantagens econômicas na área”, almeja.

Esse futuro não está tão distante.

São altos os investimentos na área e grande a urgência em expandir a produção de biocombustíveis – especialmente fora do Brasil. Há centenas de plantas piloto voltadas ao etanol de segunda geração com as mais diversas biomassas espalhadas pelos Estados Unidos e pela Europa. “Quando investem grandes quantias, os governos cobram resultados. Nos próximos quatro anos, devem aparecer as primeiras indústrias comerciais de bioetanol de segunda geração”, prospecta Lima.

Entre os gargalos técnicos ainda existentes, encontra-se a alta demanda enzimática para conversão da celulose em etanol. “Com a tecnologia atual, há gasto de 40 vezes mais enzimas para sacarificar materiais lignocelulósicos do que o amido, tecnologia usada comercialmente nos Estados Unidos”, compara Colodette. Em outras pala-

avras, o método é já conhecido e dominado, mas ainda não tem condições comerciais sustentáveis.

As facilidades para gerenciar madeira e lidar com resíduos florestais fazem da indústria papelera uma forte candidata à produção de etanol de segunda geração. Imaginar fábricas de celulose integradas a plantas de etanol, porém, é um engano. “A indústria de celulose pode produzir bioetanol no futuro, mas deverão ser unidades industriais distintas”, diz Colodette.

Impasses atuais à parte, Lima classifica o Brasil como um país especial em relação aos biocombustíveis. “Temos uma diversidade muito grande de biomassas e indústrias consolidadas que fazem uso delas. Quando o setor florestal, incluindo o de celulose e papel, entrar na área, vai tornar o tema ainda mais promissor do que é”, completa.

## Biorrefinaria Virtual da Cana-de-Açúcar

A fim de mensurar o estágio das pesquisas e o sucesso de novas tecnologias voltadas à produção de etanol de segunda geração, o CTBE desenvolveu uma ferramenta de simulação computacional de processos. Nomeado de Biorrefinaria Virtual da Cana-de-Açúcar, o instrumento surgiu a partir de três objetivos básicos: comparar diferentes rotas dentro do conceito de biorrefinaria, avaliar o estágio de desenvolvimento tecnológico em que cada rota se encontra e desvendar caminhos para otimizar o uso das tecnologias em questão.

Os cálculos feitos apontam resultados que dispensam experiências práticas, num primeiro momento, e indicam os melhores caminhos a serem seguidos na hora de partir para os experimentos. “Um aspecto importante na construção da Biorrefinaria Virtual foi a preocupação em integrar as diversas etapas da cadeia produtiva de cana-de-açúcar. Como visamos avaliar os impactos ambientais e sociais, além dos econômicos, é fundamental avaliar todas as fases de forma integrada”, detalha Antonio Bonomi, diretor do Programa de Avaliação Tecnológica do CTBE e coordenador do projeto de construção da Biorrefinaria Virtual da Cana-de-Açúcar.

Entre os resultados preliminares das análises feitas até o momento, Bonomi cita a constatação de que, para chegar à produção economicamente viável do etanol de segunda geração, faz-se necessário investir nos processos produtivos do biocombustível de primeira geração. “Para fazer etanol de segunda geração, é preciso ter material lignocelulósico excedente (bagaço ou palha). Uma das alternativas para aumentar a sobra desse material, por meio da hidrólise da celulose na usina de biorrefinaria, é reduzir o consumo de vapor do processo de primeira geração”, exemplifica.

Segundo Bonomi, o foco atual das pesquisas realizadas com a ferramenta pode ser resumido em duas frentes de análise: da rota alcoolquímica (processo que usa o álcool como precursor de produtos químicos) e da rota sucroquímica (produtos feitos a partir de fermentação e conversão catalítica do açúcar).

“Claramente a prioridade do CTBE é a cana-de-açúcar, mas enxergamos que os setores florestais, incluindo a indústria de celulose e papel, têm porte e interesse para discutir questões de biorrefinaria”, afirma o diretor do programa. Ainda de acordo com Bonomi, o CTBE, na função de laboratório nacional, está aberto a futuras parcerias. “Todas as instituições que nos ajudam a melhorar a ferramenta se tornam automaticamente parceiras e usuárias dos programas sem qualquer ônus.”

Pensando exclusivamente na indústria de celulose e papel, “seria fundamental uma parceria com empresas do setor para a construção de uma versão da Biorrefinaria Virtual que envolva o uso de resíduos de reflorestamento, com cenários projetados especificamente para esse fim”, esclarece Bonomi.



## HEMICELULOSE

Tal componente, que corresponde a uma média de 23% a 32% da composição total da madeira, pode ser útil a produções de relevante valor agregado, a exemplo de hidrogéis para a indústria farmacêutica, bioplásticos, resinas furânicas e reagentes químicos verdes, entre outros. As hemiceluloses também podem se tornar uma valiosa fonte para produção de etanol, “mas a tecnologia para essa transformação ainda é precária”, reforça Colodette.

Conforme explica o professor da UFV, o principal empecilho na exploração do potencial deste componente está no baixo rendimento. Hamaguchi, pesquisador da LUT, completa: “A hemicelulose pode ser extraída dos cavacos por meio de um tratamento específico. Por afetar diretamente o rendimento de polpação e a qualidade do produto final, torna-se um processo desafiador”. A LUT vale como exemplo de instituição que tem direcionado esforços para estudar a magnitude desses impactos no processo kraft.

O gerente geral de Tecnologia

da Fibria ressalta que a empresa brasileira dedica atenção a todos os componentes da madeira. “Nossa área de P&D vem estudando todas as possíveis alternativas oferecidas pela biomassa, incluindo os bioprodutos”, afirma. “Um dos pontos fracos do eucalipto, porém, consiste na baixa concentração de hemicelulose, fator que dificulta a extração e aproveitamento do componente – a menos que o carro-chefe da empresa não seja a produção de celulose de mercado”, comenta ele, ao citar o entrave prático.

## LIGNINA

A lignina representa 25% a 30% da composição da madeira. Trata-se de uma importante fonte de fenóis que oferece maior gama de desenvolvimento de produtos e soma estudos mais avançados a respeito de seu potencial.

Maria Cristina, da Universidade Nacional de Misiones, informa que a lignina é composta por grupos aromáticos que, isolados, resultam em uma série de produtos. Hoje, quase três quartos dos produtos comerciais

feitos a partir da lignina aproveitam a estrutura do polímero e suas demais propriedades em aplicações como dispersantes, emulsificantes e aglutinantes. Adesivos e enchimentos são outras aplicações possíveis oferecidas pela lignina.

Visualizando as oportunidades de mercado para a lignina em médio prazo, Maria Cristina aponta a necessidade de ampliar o conhecimento sobre o reuso da matéria-prima, conforme o recurso e o processo pelo qual foi isolada. “Essas descobertas ajudarão a desenvolver tecnologias apropriadas para ampliar o controle e as propriedades da lignina como polieletrólito, assim como sua reatividade química e compatibilidade com outros monômeros e polímeros”, discorre.

Em meio a tantos estudos, uma certeza já impera: a lignina não pode ser usada apenas como material para queima pela indústria de celulose e papel. “Isso não quer dizer que a lignina não deva ser queimada, como é feito no processo atual de fabricação de celulose. Afinal, a fábrica precisa de energia para funcionar. Significa que, pensando nos conceitos de uma usina de biorrefinaria, queimá-la em sua totalidade apenas para produzir calor não seria a conduta mais correta”, diferencia o professor da UFV.

“Em uma fábrica kraft convencional, a queima de licor com menor teor de orgânicos afetaria não só a geração de vapor e eletricidade, como também a performance da caldeira de recuperação”, cita Hamaguchi alguns impactos que limitam a extração de grandes quantidades de lignina do licor negro.

Esa Vakkilainen, professor de Sistemas Sustentáveis de Energia da LUT, destaca que o fato de não

ARQUIVO PESSOAL



**“Pensando em biorrefinaria, queimar lignina apenas para produzir calor não é a conduta mais correta”, afirma Colodette**

existirem biorrefinarias de segunda geração em funcionamento dificulta a conclusão sobre quais produtos adicionais poderiam ser mais bem aproveitados pelo setor. “Para tanto, unidades de demonstração e desenvolvimento de mercado são necessárias. Se o enfoque for a produção de químicos, certamente há um potencial para a lignina.”

Ainda na opinião de Vakkilainen, o Brasil tem potencial para colocar uma biorrefinaria em prática antes dos países europeus. “O capital pode estar disponível, mas a questão envolve investimentos de risco. Faltam referências, por exemplo”, pondera.

Claudio-da-Silva Jr. acredita que os conceitos de biorrefinaria só serão adotados pelas empresas brasileiras após o pontapé inicial de outras nações. “Estamos acompanhando inúmeras plantas pilotos de capacidades crescentes no exterior e realizando testes com biomassas de diversas origens, mas o Brasil só deve ingressar na biorrefinaria industrial mais adiante, com menos riscos financeiros e, principalmente, quando o mercado exigir. Por enquanto, nossa indústria de celulose é bastante rentável”, justifica o gerente geral de Tecnologia da Fibria.

Independentemente do momento estratégico ideal para a entrada do setor brasileiro na biorrefinaria industrial, Claudio-da-Silva Jr. frisa que as pesquisas não param – especialmente aquelas voltadas à produção de biomassa de qualidade. Segundo ele, a geração de biomassa alternativa de qualidade e alta produtividade é outra vertente de estudos. “São dois direcionamentos distintos, mas complementares. De nada adiantará desenvolver a tecnologia para produção comercial de etanol de segunda



BANCO DE IMAGENS ARTOP

**Na opinião de Park, países que não têm petróleo vão liderar aplicação industrial de biorrefinaria**



## Biorrefinaria pelo mundo

Conheça os enfoques das pesquisas desenvolvidas pelos países que são referência em biorrefinaria.

**Suécia:** As experiências realizadas no país estão voltadas à obtenção de energia e produção de diversos materiais e produtos químicos a partir de lignina, celulose, cascas e outros resíduos florestais. Um projeto destinado à produção de dimetil éter por meio de gaseificação de licor negro também está em andamento.

**Noruega:** Um empreendimento conjunto entre a Norske Skog e a empresa de energia Hydro estuda a viabilidade de produzir biodiesel a partir da madeira. A construção de uma usina de biodiesel no sudeste do país está prevista para 2012.

**Dinamarca:** A planta de demonstração de tecnologias básicas BioGasol está atuando na produção de bioetanol celulósico a partir de uma ampla gama de biomassa, tais como lascas de madeira, resíduos de jardim, cevada e trigo.

**Islândia:** As principais tecnologias usadas na planta de demonstração de biorrefinaria de matéria-prima vegetal são hidrólise ácida e fermentação de açúcares, enquanto o principal produto estudado é o bioetanol.


**Canadá:** Um dos países que mais visualiza oportunidades de biorrefinaria para a indústria de celulose e papel, no Canadá há três principais temas de investigação: matérias-primas, conversão e tecnologias de separação e mercados para os produtos. Diversas empresas de polpa celulósica estão trabalhando para converter suas fábricas em biorrefinarias.

**Finlândia:** Três consórcios planejam estabelecer biorrefinarias de segunda geração no país. Stora Enso/Neste Oil, UPM, e Metsäliitto/Vapo estão focando seus projetos na gaseificação de biomassa e síntese por Fischer-Tropsch.

geração se não tivermos biomassa disponível.”

O gerente geral de Tecnologia da Fibria destaca que não há outras fontes de carbono, além do petróleo e da madeira, para produzir todos os combustíveis e energia que necessitamos. “Nosso maior desafio será produzir biomassa de forma eficaz e de alta rentabilidade, que

chegue a qualquer ponto do mundo”, diz ele. Nesse contexto, a América do Sul se destaca. “Não tenho nenhuma dúvida de que será aqui que vamos produzir a biomassa necessária. É nessa competência que a indústria brasileira deveria focar, a fim de se preparar melhor para o momento em que essa hora chegar”, aconselha Claudio-da-Silva Jr.

Para Park, professor da USP, os conceitos de biorrefinaria no Brasil devem ser direcionados ao melhor conhecimento do uso de materiais e resíduos lignocelulósicos como um todo. “Investir com entusiasmo nesses estudos será válido para o setor ampliar seu caráter tecnológico”, enfatiza. 

## O Papel na vanguarda da tecnologia

**Confira os artigos sobre biorrefinaria já publicados na revista O Papel.**

FERRAZ, André. Desenvolvimentos da biopolpação no Brasil. Biopulping developments in Brazil. *O Papel*, São Paulo, v. 68, n. 7, p. 44-53, jul. 2007.  
KORPINEN, Risto; FARDIM, Pedro. Lignin extraction from wood biomass by a hydrotronic solution. *O Papel*, São Paulo, v. 70, n. 5, p. 69-82, maio 2009.

KORPINEN, Risto; FARDIM, Pedro. Wood chip screenings as a source of energy, kraft pulp and functional chemicals: a nordic perspective. *O Papel*, São Paulo, v. 69, n. 5, p. 56-63, maio 2008.

SILVA, Deusanilde de Jesus; D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero. Cellulose whiskers. *O Papel*, São Paulo, v. 70, n. 7, p. 34 – 52, jul. 2009.  
The International Biorefinery Seminar (Seminário Internacional sobre Biorrefinaria), 2010, São Paulo. *Proceedings...* São Paulo: 43 ABTCP's Technical Congress and Industrial Exhibition, 2010.

XIAO-PING, Guo; AMIDON, Thomas E.; Yuan-Zong, LAI. Role of acid treatment on the reactivity of wood lignin. *O Papel*, São Paulo, v. 69, n. 9, p. 70-78, set. 2008.

## INFORME INSTITUCIONAL ABTCP/BRASIL-JAPÃO



Há certos momentos da vida que a razão não consegue explicar as causas de acontecimentos inconcebíveis, como as catástrofes que recaíram sobre o Japão, uma das mais importantes economias mundiais. Um povo tão dedicado e lutador – que já superou tantos desafios no passado – agora se depara com acontecimentos tão dolorosos.

A Diretoria Executiva da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel – presta seus mais sinceros sentimentos de apoio incondicional a todas as empresas de origem japonesa e espera que a coragem de reconstrução do Japão integre o seu povo, para superar todas as perdas, e fortaleça a Nação.

Atenciosamente

Diretoria Executiva da ABTCP

