PESQUISA APLICADA APROXIMA INOVAÇÃO, EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE À INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Trabalhos inscritos no Congresso ABTCP 2026 evidenciam a diversidade de desafios e soluções em desenvolvimento no setor, da qualidade da madeira à transformação digital, passando por recuperação química, economia circular, meio ambiente e novas aplicações para a biomassa

POR THAIS SANTI
Especial para *O Papel*

A pesquisa aplicada tem papel decisivo na evolução da indústria de celulose e papel. Em um setor que precisa conciliar competitividade, eficiência operacional, uso responsável de recursos e adaptação às transformações tecnológicas, o desenvolvimento de soluções passa, cada vez mais, pela aproximação entre conhecimento científico e necessidades concretas das fábricas.

Essa relação esteve presente nos trabalhos apresentados no 58.º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel, promovido pela Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP), realizado de 6 a 8 de outubro de 2026. Mais de 240 estudos foram inscritos nesta edição, abrangendo diferentes etapas da cadeia produtiva e temas relacionados aos desafios atuais e às perspectivas de desenvolvimento do setor.

Anualmente, os trabalhos apresentados no Congresso são avaliados por um comitê especializado, que seleciona os mais bem avaliados em suas respectivas sessões técnicas. A seleção reconhece pesquisas que contribuem para ampliar o conhecimento sobre processos industriais, propor alternativas tecnológicas e investigar oportunidades de melhoria em diferentes frentes da produção.

Nesta reportagem, são apresentados os 12 trabalhos mais bem avaliados do Congresso, dentre 13 no total, sendo este último o Melhor Trabalho de Estudante, cuja matéria também pode ser lida neste Caderno Especial ABTCP 2026.

Os estudos revelam uma indústria que busca avançar em várias direções simultaneamente. Na base florestal, a precisão na caracterização da madeira continua sendo determinante para o desempenho industrial. Na fábrica, pesquisas investigam alternativas para melhorar a filtragem de licor verde, otimizar o branqueamento, reduzir o consumo de produtos químicos e aumentar a confiabilidade de equipamentos. Em paralelo, a valorização de resíduos, o tratamento de efluentes, a digitalização e a inteligência artificial ampliam as possibilidades de integração entre eficiência produtiva e sustentabilidade.

Embora partam de problemas bastante específicos, os trabalhos têm um ponto em comum: procuram transformar conhecimento técnico em ferramentas para a tomada de decisão. São estudos que envolvem desde ensaios laboratoriais e modelagens até avaliações em escala industrial e testes de campo, evidenciando a importância da validação das soluções nas condições reais de operação.

Sessão Técnica de Qualidade da Madeira

A qualidade da madeira influencia diretamente o rendimento industrial, o consumo específico de matéria-prima e a eficiência do processamento da celulose. Por isso, conhecer as características da madeira e compreender a variabilidade existente ao longo do tronco são etapas importantes para o planejamento florestal e o controle de qualidade.

O trabalho "**Influência da amostra de madeira na determinação da densidade de eucalipto mensurada no diâmetro à altura do peito**", desenvolvido por Stéffany de Lima Araujo e pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), investigou a representatividade da densidade básica medida no



FAUSTO TAKAO

Conforme Stéffany, pesquisadora da UFES, a adoção de modelos de correção pode contribuir para aproximar os resultados obtidos em diferentes etapas da cadeia

diâmetro à altura do peito (DAP) para estimar a densidade média do fuste de clones de eucalipto.

A pesquisa avaliou 390 árvores e comparou três tipos de amostras: discos, cunha única e cunhas opostas. Os resultados indicaram que a densidade determinada no DAP tende a subestimar a média do fuste, independentemente do tipo de amostra. A partir dessa constatação, os pesquisadores desenvolveram modelos de correção para melhorar a estimativa.

Para representar a variabilidade da densidade ao longo da árvore, as amostras foram obtidas em 12 posições do fuste. Na comparação entre os métodos, discos e cunhas opostas apresentaram menor erro e maior coeficiente de determinação ajustado. A cunha única também mostrou potencial, embora com desempenho cerca de 4% inferior nesse indicador.

Stéffany explica que a investigação surgiu de uma questão recorrente na avaliação da madeira: a diferença entre a medição realizada em uma posição específica da árvore e a densidade que representa o fuste como um todo. "É muito comum o DAP subestimar a densidade da árvore", afirma.

A pesquisadora destaca que a adoção de modelos de correção pode contribuir para aproximar os resultados obtidos em diferentes etapas da cadeia. "Por meio desses fatores de correção, é possível da densidade do cavaco, chegar à densidade do disco", explica, referindo-se à possibilidade de estabelecer parâmetros comuns entre as avaliações realizadas pelas áreas florestal e industrial.

O estudo também reforça a importância da padronização das informações utilizadas pelas empresas. Para Stéffany, o objetivo não é necessariamente modificar os procedimentos já adotados, mas ampliar a compreensão sobre a matéria-prima. A integração entre pesquisa e operação aparece, assim, como um caminho para qualificar a interpretação dos dados e apoiar decisões relacionadas à seleção de materiais genéticos, ao controle de qualidade e ao desempenho industrial.

Sessão Técnica de Recuperação e Energia

Na área de recuperação química, a filtrabilidade do licor verde tem impacto direto na estabilidade da caustificação. Embora sistemas compactos de filtração sejam utilizados em plantas modernas, fatores como características do licor, a da formação da torta e a obstrução progressiva do meio filtrante podem limitar seu desempenho.

O trabalho "**Avaliação técnico-industrial do uso de polímero como auxiliar de drenagem em sistemas X-Filter na filtragem de licor verde**", avaliou em escala industrial a aplicação do produto CLEARLIQ CP 7567B como auxiliar de drenagem. O estudo reuniu Eduardo Iamazaki (Coordenador de Aplicações de P&DI), Fabio Menezes (Gerente da Divisão Industrial – Celulose e Papel, Catalisadores e Outros | Região das Américas), Eduardo Poffo de Souza (Gerente da Área de Celulose e Papel | Brasil), Carlos Wolf (Diretor de P&DI) e Eustenys Maykon Prates Silva (Analista de Processos).



ARQUIVO PESSOAL

Eduardo Iamazaki, da Dorf Ketal: trabalho avaliou aplicação de polímero como auxiliar de drenagem

Desenvolvido em parceria entre a Dorf Ketal e a Veracel Celulose, o estudo testou diferentes dosagens do produto. A concentração de 4 ppm apresentou o desempenho operacional mais consistente. Em uma das campanhas, houve aumento de 64% no volume de licor verde filtrado, equivalente a 1.216 m^3 por dia, ou cerca de 50 m^3 por hora adicionais.

Segundo Eduardo Iamazaki, o projeto começou com o desenvolvimento de uma molécula específica e foi para o uso nos filtros X-Filter. Antes do teste industrial, a equipe realizou ensaios laboratoriais. Na planta, foram monitorados parâmetros como vazão do filtrado, pressão e índice de filtrabilidade.

"O produto foi desenvolvido especificamente para esse tipo do X-Filter", explica Iamazaki. Segundo ele, os próximos estudos deverão avaliar a aplicação em outros sistemas de filtração com ajustes de dosagem de acordo com as características de cada planta.

Sessão Técnica de Celulose

Ainda na mesma área, o trabalho "**Avaliação de agentes quelantes na indústria de celulose**", de Eduarda Freitas Januário Giaccheto e Nadia Gabriela Milaneze, da Contech, investigou alternativas químicas para melhorar a eficiência do branquea-


FAUSTO TAKAO

Eduarda Freitas Januário Giaccheto, da Contech, apresentou estudo sobre agentes quelantes

mento da celulose e contribuir para o controle de incrustações nos sistemas industriais. O estudo partiu de dois desafios presentes na operação: a interferência de íons metálicos no aproveitamento do peróxido de hidrogênio e a formação de depósitos que podem comprometer o desempenho dos equipamentos.

No branqueamento, metais como ferro, manganês e cobre podem catalisar a decomposição prematura do peróxido de hidrogênio, reduzindo a disponibilidade do oxidante para as reações responsáveis pelo ganho de alvura. Nesse contexto, os agentes quelantes atuam na complexação desses íons, formando espécies que podem ser removidas nas etapas subsequentes de lavagem e desaguamento da polpa. Com isso, favorecem o aproveitamento dos reagentes e podem contribuir para reduzir o consumo de insumos químicos.

A avaliação contemplou diferentes classes de compostos, entre eles EDTA e DTPA, pertencentes à família dos aminopolicarboxilatos, amplamente utilizados no pré-tratamento da polpa antes do branqueamento com peróxido. Também foram considerados os fosfonatos HEDP e ATMP, que apresentam aplicações relevantes no controle de incrustações. A escolha das alternativas levou em conta a capacidade de complexação, a estabilidade em diferentes condições de pH e temperatura, a eficiência na aplicação, a dosagem necessária e a relação entre desempenho e custo de utilização.

Os resultados industriais apresentados para o Produto A foram um dos destaques do trabalho. Em substituição ao produto de referência, a alternativa manteve a meta de alvura de 78% ISO e as demais especificações de produção, sem alterações nas condições operacionais avaliadas. Também foi observada redução no consumo de peróxido de hidrogênio, soda cáustica e silicato de sódio, indicando potencial de otimização do processo sem comprometimento da qualidade final da polpa.

Para Eduarda Freitas Januário Giaccheto, engenheira química, mestre e doutora em Engenharia Química e pesquisadora da Contech no Centro de Desenvolvimento, Pesquisa e Tecnologia (CDT), a avaliação precisa considerar as particularidades de cada operação. "Um produto com elevada capacidade de complexação nem sempre representa a melhor alternativa em todas as aplicações. É necessário considerar também a dosagem necessária, o resultado obtido e o custo para alcançar o desempenho desejado", explica.

A pesquisadora destaca ainda que a seleção dos agentes deve incorporar critérios ambientais e regulatórios, como composição química, biodegradabilidade, potencial de impacto ambiental e adequação às exigências aplicáveis à operação e ao mercado atendido. Aspectos relacionados ao tratamento de efluentes e à presença de determinados componentes também podem influenciar a escolha. Assim, a decisão envolve não apenas a eficiência química, mas a compatibilidade da solução com as condições técnicas, econômicas e ambientais de cada processo.

Além do branqueamento, o estudo abordou o potencial dos quelantes no controle de incrustações. Dependendo da composição da água, do pH e da temperatura, determinados íons e sais podem favorecer a formação de depósitos em tubulações, trocadores de calor, chuveiros e outros equipamentos. Esses materiais podem prejudicar a transferência de calor, reduzir a eficiência operacional e aumentar a frequência de intervenções para limpeza e manutenção. Em formulações anti-incrustantes, os quelantes também podem atuar em conjunto com dispersantes, que auxiliam no controle da deposição de partículas.

Nessa frente, a avaliação do Produto C foi realizada em uma amostra de água de poço artesiano, com dosagem de 50 ppm. Após o tratamento, foram registradas reduções de aproximadamente 59% na concentração de ferro, 15% na de sílica e 8% na dureza da água. A turbidez também apresentou diminuição, passando de 42 para 35 NTU. Os resultados indicam alterações em parâmetros físico-químicos relevantes para a avaliação da qualidade da água e apontam possibilidades de aplicação em sistemas nos quais esses componentes representam desafios operacionais.

Eduarda ressalta, entretanto, que os resultados laboratoriais precisam ser interpretados dentro de seus limites. A redução dos parâmetros analisados não comprova, isoladamente, que haverá menor formação de incrustações nos equipamentos. "Para confirmar esse benefício, é necessário um acompanhamento da formação de depósitos e de indicadores como perda de carga, eficiência de troca térmica, frequência de limpeza e disponibilidade dos equipamentos", pontua.

A validação em campo, portanto, é uma etapa fundamental para determinar a eficiência do tratamento em condições reais de processo, ajustar as dosagens e verificar o retorno econômico da aplicação. Como conclui a pesquisadora, o potencial dessas soluções está na seleção de tecnologias específicas para cada necessidade industrial, associada ao monitoramento de indicadores e à comprovação de resultados mensuráveis para a operação.

Sessão Técnica de Sustentabilidade

A destinação de resíduos industriais permanece entre os desafios de gestão das unidades produtoras de celulose. Além das alternativas já consolidadas, a busca por novos mercados e aplicações exige caracterização dos materiais, avaliação de desempenho e articulação entre diferentes setores produtivos.



FAUSTO TAKAO

Lidiane Menezes Costa, da Suzano, apresentou o trabalho sobre o potencial do dregs e grits no mercado cimentício

Na Suzano, unidade Jacareí, o trabalho "**Economia circular na Suzano, Jacareí: o potencial do dregs e grits no mercado cimentício**", de Lidiane Menezes Costa, Miquéias Gontijo Delabrida e Fernando Pacheco, avaliou a possibilidade de aproveitamento desses resíduos da etapa de caustificação como matérias-primas alternativas na indústria cimenteira.

Até 2025, a destinação dos materiais na unidade estava concentrada na aplicação agrícola. A pesquisa buscou ampliar as possibilidades de aproveitamento, considerando a composição química dos resíduos e sua similaridade com o calcário, especialmente em relação ao teor de óxido de cálcio (CaO).

A caracterização identificou teor de CaO de 55,02% e perda ao fogo de 42,08%. Os resultados indicaram potencial para substituição parcial do calcário na fabricação de cimento, embora a composição exija ajustes com matérias-primas complementares, em razão dos menores teores de sílica, alumina e óxido de ferro.

Analista de Meio Ambiente da Suzano em Jacareí, Lidiane explica que a pesquisa nasceu do anseio de ampliar as alternativas de destinação, encontrando possibilidades viáveis ambiental, social e financeira. "A unidade tinha, até 2025, uma única forma de destinação do dregs e grits, que era para produção de corretivo de solo. Visando expandir o portfólio de alternativas de destinação, foi realizado um trabalho consistente de desenvolvimento técnico, incluindo estudos, pesquisas e análises de viabilidade. Como resultado desse processo, identificamos essa possibilidade, que se mostrou tecnicamente adequada e alinhada aos objetivos da operação", relatou.

Um dos avanços foi a aplicação comercial do material em uma unidade da Hipermix, parceira no desenvolvimento do trabalho. A experiência abriu caminho para avaliações de resíduos provenientes de outras unidades, que apresentam características próprias e demandam estudos específicos.

A experiência também evidencia os desafios para transformar uma possibilidade técnica em uma destinação comercial. Além da caracterização do material, é necessário encontrar parceiros disponíveis para realizar testes, avaliar a logística e equilibrar os custos envolvidos em toda a cadeia. Como destaca Lidiane, a economia circular exige uma análise que considere o processo do início ao fim.

Sessão Técnica Florestal

A valorização de resíduos também orienta o trabalho "**Avaliação do uso de cal apagada (hidróxido de cálcio) na estabilização de solos para construção de estradas florestais**", de Kaique Mesquita Gonçalves, Tarciso Andrade Matos e Jean Alberto Sampietro, desenvolvido pela Veracel em parceria com a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

A pesquisa avaliou a viabilidade técnica da utilização de hidróxido de cálcio proveniente de resíduos industriais da produção de celulose na estabilização de solos empregados na construção de estradas florestais. A proposta considera dois desafios das operações do setor: a necessidade de manter uma infraestrutura viária em boas condições para o transporte de madeira e a busca por novas aplicações para materiais gerados no processo industrial.



ARQUIVO PESSOAL

Segundo Kaique, os melhores resultados foram observados na camada de 20 cm, que apresenta maior concentração de argila nos solos avaliados

A iniciativa teve como referência uma experiência apresentada no Congresso ABTCP de 2024, que utilizava um produto à base de hidróxido de cálcio na estabilização de estradas rurais. Com base nesse conhecimento, a equipe identificou a possibilidade de aplicar o material disponível na própria indústria, estabelecendo uma parceria entre as áreas de Meio Ambiente e Estradas da Veracel e a UDESC.

"Em 2025, iniciamos um projeto voltado à diversificação das aplicações dos resíduos industriais, buscando utilizá-los nas operações florestais. Essa iniciativa foi uma das ações nesse sentido, com o objetivo de transformar um resíduo industrial em uma oportunidade de geração de valor", explica Gonçalves, analista ambiental da Veracel, que atua na Coordenação de Meio Ambiente e Licenciamento.

Os ensaios laboratoriais demonstraram que a incorporação de cal apagada promoveu melhorias na resistência mecânica e na capacidade de suporte do solo, com resultados de destaque para as dosagens de 2% e 3%. No ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR), utilizado para avaliar essa capacidade, o tratamento com 3% de cal atingiu 80% na camada de 0 a 20 cm, enquanto a dosagem de 2% alcançou 74% na profundidade de 0 a 40 cm. Os resultados também indicaram que o aumento da concentração não necessariamente proporciona ganhos adicionais, reforçando a importância de identificar a dosagem mais adequada para cada condição.

A profundidade de aplicação também influenciou o desempenho. Segundo Gonçalves, os melhores resultados foram observados na camada de 20 cm, que apresenta maior concentração de argila nos solos avaliados. "A presença de minerais argilosos é fundamental para as reações entre a cal e o solo,

favorecendo os processos de floculação e cimentação das partículas finas. Esses mecanismos modificam a estrutura do solo e contribuem para o aumento da resistência e da capacidade de suporte", detalha.

Os resultados laboratoriais foram posteriormente avaliados em um trecho experimental, com diferentes tratamentos de aplicação. Após 28 dias de cura e a passagem de aproximadamente 400 composições do tipo Tritrem carregadas, os ensaios de campo apontaram menor deformação do pavimento e redução do afundamento nas trilhas de roda nos trechos tratados com 2% e 3% de cal a 20 cm de profundidade. Entre os tratamentos, a aplicação de 2% apresentou o menor afundamento nas trilhas de roda, enquanto ambas as dosagens demonstraram desempenho favorável em relação ao trecho sem estabilização.

Tais resultados estão relacionados ao aumento da resistência mecânica e à redução da plasticidade do solo, características que ajudam a minimizar as deformações permanentes provocadas pelo tráfego de veículos pesados. A avaliação também considerou a área de solo movimentada, outro indicador do comportamento superficial da estrada após a circulação dos caminhões.

Para o analista da Veracel, o trabalho abre perspectiva para a utilização da solução em trechos da malha viária que apresentam maior necessidade de manutenção. A expectativa é ampliar gradualmente os testes, priorizando pontos críticos e regiões com maior demanda operacional. "Esses ganhos podem contribuir para aumentar a vida útil das estradas e reduzir a frequência de intervenções corretivas, gerando economia na manutenção e maior eficiência operacional", afirma.

A expansão da aplicação, entretanto, depende de novas validações em campo e do acompanhamento dos resultados em diferentes condições de solo e operação. Com base nesse monitoramento, será possível estabelecer critérios técnicos para orientar a dosagem e a profundidade de aplicação, além de avaliar os benefícios econômicos ao longo do tempo.

Sessão Técnica de Biorrefinaria

A ampliação do valor agregado da biomassa é um dos caminhos discutidos para a evolução da indústria de celulose e papel. Além da produção de fibras e energia, a integração de tecnologias de conversão pode abrir oportunidades para novos materiais, produtos químicos, combustíveis e aplicações relacionadas à descarbonização.

Intitulado "**Bioeconomia florestal: análise comparada de competitividade e convergência tecnológica entre Brasil e mercados globais**", de Mauro Donizeti Berni, Paula Meyer Soares, Sergio Valdir Bajay, Ivo Leandro Dorileo e Bruna Souza Moraes, o trabalho analisa as perspectivas de desenvolvimento da indústria brasileira de celulose e papel diante das transformações tecnológicas e dos movimentos globais de descarbonização. Com horizonte em 2034, o estudo compara as condições competitivas do Brasil com mercados como Escandinávia e América do Norte, considerando aspectos econômicos, tecnológicos, regulatórios e ambientais.

Mauro Berni, pesquisador do NIPE-Unicamp, conta que a pesquisa parte da perspectiva de que o setor precisa avançar de uma manufatura tradicional para uma plataforma tecnológica capaz de aproveitar integralmente a biomassa e oferecer alternativas às matérias-primas de origem fóssil. As biorrefinarias de quarta geração (4G) aparecem como um dos caminhos para ampliar o valor agregado da produção florestal. O modelo integra química verde, nanotecnologia, biologia sintética, inteligência artificial e sistemas digitais para otimizar o aproveitamento da celulose, hemicelulose e lignina, viabilizando a produção simultânea de energia renovável, combustíveis sustentáveis e materiais avançados.

"Entre as oportunidades identificadas para a indústria brasileira estão a produção de lignina modificada de alta pureza, com potencial para substituir compostos aromáticos sintéticos em aplicações como compósitos automotivos, e a ampliação da escala industrial da nanocelulose (MFC/CNC). Esse material pode agregar desempenho a papéis e embalagens, além de encontrar aplicações em segmentos de maior valor, como as indústrias farmacêutica e biomédica. A diversificação também abre perspectivas para o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis de aviação e outras soluções voltadas à descarbonização", define Berni.

Na análise do pesquisador da Unicamp, um dos pontos centrais dessa transformação está na diferença entre as vantagens competitivas dos mercados avaliados. Enquanto países do Hemisfério Norte apresentam maior maturidade bioquímica, o Brasil reúne condições de ecoeficiência em escala, sustentadas pela produtividade florestal e pela capacidade industrial. "A transformação do setor de celulose e papel de uma manufatura tradicional para uma plataforma tecnológica busca substituir matérias-primas fósseis na transição energética", destaca.

O estudo ressalta ainda a produtividade silvicultural do eucalipto, cujo ciclo de rotação é de aproximadamente seis a sete anos, em comparação com os 30 a 50 anos de espécies como pinho e bétula em mercados do Hemisfério Norte. Outro diferencial está na possibilidade de integrar a elevada produção de biomassa à geração de energia renovável e a tecnologias de captura e armazenamento de carbono por bioenergia (BECCS). O manejo florestal em mosaico, que intercala áreas produtivas com Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais, também é apontado como oportunidade para desenvolver ativos relacionados aos créditos de biodiversidade.

Conforme Berni, a consolidação dessas vantagens, entretanto, depende de superar condicionantes importantes. O trabalho destaca a necessidade de marcos regulatórios ágeis, claros e seguros, capazes de atrair investimentos e estabelecer regras para

a valorização de ativos ambientais. A formação de profissionais especializados em áreas como biologia sintética e engenharia de bioprocessos também aparece como requisito para acompanhar a evolução tecnológica. Somam-se a esses desafios os riscos climáticos, especialmente os relacionados ao estresse hídrico, incêndios e pragas, que podem comprometer a produtividade e a segurança do abastecimento florestal.

Outro eixo de transformação abordado é a digitalização das florestas. O estudo aponta o desenvolvimento de Gêmeos Digitais da Floresta (Forest Digital Twins), apoiados por sensores de Internet das Coisas (IoT), satélites hiperespectrais e aprendizado de máquina. Essas tecnologias podem permitir o monitoramento de variáveis como estresse hídrico, fixação de carbono e condições favoráveis à ocorrência de pragas e incêndios, contribuindo para antecipar riscos e dar maior previsibilidade ao abastecimento das unidades industriais.

A captura e o armazenamento de carbono por bioenergia também são apresentados como oportunidades de diferenciação competitiva. A tecnologia BECCS permite associar a geração de energia renovável à captura do CO_2 proveniente da queima de biomassa, especialmente da lignina em caldeiras industriais. O carbono capturado pode ser destinado ao armazenamento geológico ou combinado com hidrogênio verde para outras aplicações. Essa integração abre caminho para operações com balanço negativo de carbono, desde que consideradas as emissões de todo o ciclo e os critérios de mensuração e auditoria.

Além disso, a discussão sobre a valorização dos ativos ambientais ao abordar os créditos de biodiversidade também está presente e considera a preservação e a restauração de corredores ecológicos nativos em áreas de manejo florestal em mosaico como possibilidades de geração de valor, atraindo investimentos voltados a compromissos ambientais e diversificando as fontes de receita para além da comercialização da fibra de celulose.

"A competitividade futura da bioeconomia florestal brasileira não dependerá apenas da capacidade de produzir biomassa em larga escala, mas de integrar conhecimento científico, infraestrutura, digitalização e novos modelos de negócio. O desafio será transformar as vantagens naturais e industriais do País em soluções tecnológicas de maior valor agregado, ampliando sua participação no mercado global de produtos renováveis e contribuindo para a descarbonização de diferentes cadeias produtivas", complementa Berni.

Sessão Técnica de Embalagem

Na fabricação de papel, a presença de ar no circuito de aproximação pode interferir na interação entre fibras e partículas, na formação de flocos e no desempenho dos aditivos utilizados na parte úmida. O controle desse fenômeno é tradicionalmente realizado com produtos químicos antiespumantes e desaerantes.

O trabalho "**Reducing chemicals by reducing chemicals**", de Jukka Heinonen e Risto Nykänen, da Aikawa Fiber Technologies, propõe uma abordagem baseada na remoção mecânica do ar em uma etapa inicial do processo, por meio de um sistema compacto de circulação curta e desaeração mecânica.

A proposta considera que a presença de antiespumantes pode interferir na atuação de outros aditivos, levando à necessidade de ajustes e, em alguns casos, à dosagem adicional de produtos químicos. A remoção antecipada do ar, por sua vez, pode reduzir essa complexidade e contribuir para a estabilidade operacional.

Em sua contribuição sobre o tema, Heinonen resume o efeito do ar na parte úmida com uma comparação: o ar ocupa espaço entre as fibras, dificulta a interação entre partículas e interfere na formação dos flocos.

"A adoção da desaeração mecânica em estágio inicial pode reduzir volumes de água e simplificar a química do processo. A aplicação, entretanto, depende das características de cada sistema, das condições existentes e dos objetivos da unidade industrial", disse Heinonen.

Sessão Técnica de Papel

Na etapa de conversão, a eficiência do corte influencia a qualidade do produto final, a vida útil das lâminas e a continuidade operacional. Nesse contexto, o trabalho "**Development of a sustainable cutting fluid for paper converting and performance evaluation via Reichert test**", de Noemi Kimura, Laila Nazari, Luca Salvadorini, Frank Adolf, Rafael del Corral Sánchez, Thomas Brandenburger e Joel Lopes de Carvalho, apresenta o desenvolvimento de um fluido de corte à base de água e livre de óleo mineral para sistemas de corte de rolos de papel tissue.

Denominada SAWLUBE PAP 21, a formulação foi desenvolvida para oferecer desempenho de lubrificação e proteção das lâminas, considerando também aspectos ambientais e de segurança do trabalho. A preocupação está



FAUSTO TAKAO

"Na prática, uma menor área de desgaste pode contribuir para prolongar a vida útil das lâminas, reduzir a frequência de substituições e diminuir as paradas para manutenção", afirmou Noemi Kimura

relacionada ao uso de fluidos à base de óleo mineral em máquinas de alta velocidade, nas quais a operação pode gerar aerossóis e aumentar a exposição dos trabalhadores a determinados componentes, como os hidrocarbonetos saturados e aromáticos de óleos minerais (MOSH e MOAH), associados a riscos de acúmulo no organismo e a propriedades carcinogênicas.

Para superar esse desafio, a equipe desenvolveu uma formulação aquosa estruturada em diferentes blocos de componentes, com funções específicas, incluindo aditivos tribológicos responsáveis pelas propriedades de lubrificação. Um dos principais desafios foi estabilizar todos esses componentes em água e manter o desempenho necessário em diferentes temperaturas e condições de operação.

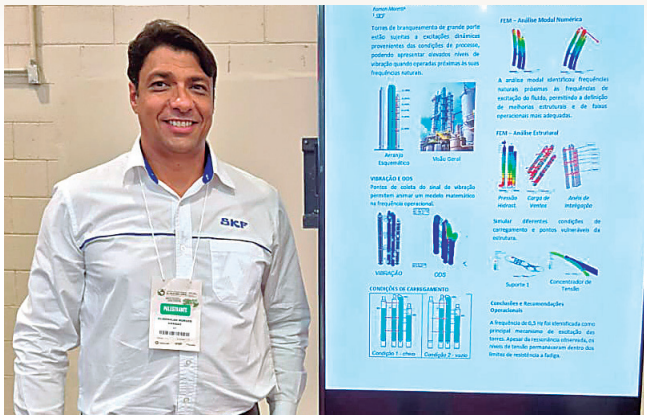
A eficiência da formulação foi avaliada pelo ensaio de desgaste Reichert, que compara a capacidade de lubrificação dos produtos com base na área de desgaste: quanto menor a área registrada, melhor o desempenho. Na diluição de 50%, o SAWLUBE PAP 21 apresentou 15,3 mm² de desgaste, ante 22,8 mm² do produto comercial de referência e 34,4 mm² da água. O resultado representa uma área de desgaste aproximadamente 33% menor em relação ao concorrente, indicando maior potencial de proteção contra o desgaste das lâminas.

Outro resultado relevante foi observado mesmo em uma concentração mais diluída. Com 33% de produto, o SAWLUBE PAP 21 registrou área de desgaste de 19,2 mm², próxima aos 18,3 mm² obtidos pelo produto de referência utilizado puro. Para Noemi Kimura, química pesquisadora da Petrofer do Brasil, os resultados demonstram o potencial da formulação para aliar eficiência de lubrificação e redução do desgaste.

"Na prática, uma menor área de desgaste pode contribuir para prolongar a vida útil das lâminas, reduzir a frequência de substituições e diminuir as paradas para manutenção. Esses fatores também podem favorecer a qualidade do corte e o controle do consumo de fluido, com possíveis reflexos nos custos operacionais", explica Noemi.

Além do desempenho técnico, o SAWLUBE PAP 21 atende a requisitos ambientais e de segurança que permitem sua utilização na produção de papéis destinados ao contato com alimentos. A solução reúne referências e certificações como Ecolabel, Nordic Swan e Blue Angel, além de atender aos requisitos da BfR XXXVI, relacionados à aplicação em materiais destinados ao contato com alimentos.

Segundo Noemi, o produto já está em aplicação industrial em diversos países europeus. No Brasil, encontrava-se em fase de testes, com expectativa de entrada em uso nos três meses seguintes à entrevista. A pesquisadora ressalta que o desenvolvimento exigiu equilibrar diferentes requisitos da formulação, sem recorrer ao óleo mineral e mantendo a estabilidade necessária às condições industriais.



ARQUIVO PESSOAL

Clodoaldo Borges Chagas, da SKF: a frequência natural está relacionada à razão entre rigidez e massa da estrutura

Sessão Técnica de Manutenção

A disponibilidade dos equipamentos é determinante para a continuidade da produção industrial. Vibrações elevadas, quando não diagnosticadas adequadamente, podem acelerar o desgaste de componentes, comprometer a confiabilidade dos ativos e limitar a capacidade operacional. Na indústria de celulose, esses efeitos podem representar perdas de produtividade e aumento dos custos de manutenção.

O trabalho "**Mitigação de ressonância estrutural em rosca extratora de cavacos por análise de vibração, ODS e FEM**", de Clodoaldo Borges Chagas, Guilherme Zaccano Gomes, Renato Nascimento de Castro e Leandro de Carvalho, da SKF, investigou as causas das vibrações elevadas em uma rosca extratora de cavacos de madeira de uma planta industrial de celulose. O equipamento apresentava baixa vida média entre falhas *Mean Time Between Failures* (MTBF), condição que levou à investigação pela equipe de análise dinâmica da empresa. O problema também limitava a operação a aproximadamente 90% da rotação nominal.

A análise identificou uma condição de ressonância estrutural, caracterizada pela proximidade entre uma frequência operacional e uma frequência natural do equipamento. Essa condição provocava níveis elevados de vibração, principalmente nas regiões de instalação do redutor. Segundo Clodoaldo, a movimentação da carcaça do redutor interferia no engrenamento, contribuindo para o desgaste acelerado dos componentes.

Para identificar a origem do problema e definir a intervenção, a equipe combinou três abordagens: análise convencional de vibração, técnica *Operating Deflection Shape* (ODS) e simulação por elementos finitos (FEM). O monitoramento contemplou não apenas os mancais do motor e do redutor, mas também os pontos de interligação entre o equipamento e sua estrutura de suporte, além de diferentes regiões do corpo da máquina. As medições contínuas permitiram acompanhar

o comportamento dinâmico do conjunto e identificar alterações associadas às variações de carga e rotação.

A técnica ODS possibilitou transformar os dados de vibração em uma representação tridimensional do movimento do equipamento, com amplificação dos deslocamentos para facilitar a visualização dos fenômenos envolvidos. Em paralelo, a equipe utilizou a Análise Modal Operacional *Operational Modal Analysis* (OMA) para identificar possíveis frequências naturais do sistema a partir das variações de carga e rotação. Essas informações foram confrontadas com um modelo computacional desenvolvido pelo método dos elementos finitos (FEM), construído para reproduzir as condições reais de campo, incluindo espessuras de chapas e reforços estruturais.

A comparação entre os resultados experimentais e as simulações permitiu validar o modelo numérico e utilizá-lo na avaliação das alternativas de intervenção. A solução proposta consistiu na aplicação de reforços estruturais para aumentar a rigidez do conjunto e deslocar a frequência natural crítica, afastando-a das frequências de operação. Como explica Clodoaldo, a frequência natural está relacionada à razão entre rigidez e massa da estrutura. Assim, ao aumentar sua rigidez por meio de reforços, é possível elevar a frequência natural e reduzir a possibilidade de coincidência com as frequências operacionais.

O engenheiro mecânico, integrante da equipe de análise dinâmica da SKF e pesquisador na área de vibrações e análise modal, ressalta que esse tipo de intervenção exige uma avaliação abrangente do comportamento da máquina. "Alterações em campo, sem a análise completa, podem induzir o problema a surgir em outro ponto do equipamento ou gerar outro modo de falha", alerta Clodoaldo.

As melhorias estruturais propostas foram implementadas e acompanhadas por novas medições. Após a intervenção, os níveis globais de vibração apresentaram redução de aproximadamente 80% em relação à condição anterior, demonstrando a efetividade da solução adotada.

Para Chagas, a principal contribuição da metodologia está na possibilidade de identificar e tratar a origem dos problemas, em vez de atuar apenas sobre seus sintomas. "A metodologia consiste em monitorar a vibração de todo o equipamento e cruzar essas informações com modelos teóricos, a fim de propor soluções que eliminem o problema em sua causa raiz", explica. A abordagem pode ser aplicada a diferentes equipamentos da indústria de celulose e papel.

Sessão Técnica de Meio Ambiente

A gestão de efluentes industriais exige o acompanhamento de parâmetros físico-químicos e biológicos. Nesse contexto, a transformação de resíduos em materiais para tratamento e a aplicação de ferramentas digitais podem ampliar as possibilidades de controle e otimização dos sistemas.



FAUSTO TAKAO

Trabalho de Adrielly Alves da Silva (UFMG), avaliou o uso de biocarvão ativado com hidróxido de sódio, produzido a partir do lodo gerado na própria indústria, para remover cor e reduzir a toxicidade crônica do efluente

O trabalho "**Aplicação de biocarvão de lodo de indústria de polpa de celulose no tratamento do efluente bruto**", de Adrielly Alves da Silva, Filipe dos Santos Alves, Marcelo Cardoso e Maria Clara V. M. Starling, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), avaliou o uso de biocarvão ativado com hidróxido de sódio, produzido a partir do lodo gerado na própria indústria, para remover cor e reduzir a toxicidade crônica do efluente.

Os ensaios foram realizados em diferentes condições de pH. A maior remoção de cor foi observada em pH 3, com eficiência de 97,24%, seguida de 92,04% em pH 5. Em pH 7, a remoção foi de 36,87%. Os testes ecotoxicológicos, realizados com a microalga *Raphidocelis subcapitata*, indicaram redução do fator de toxicidade de valores superiores a 128 no efluente bruto para 64 após o tratamento.

A pesquisa parte de uma questão relevante para as unidades industriais: a geração simultânea de efluentes e de resíduos que demandam destinação adequada. Adrielly explica que a proposta foi utilizar um material produzido a partir de um passivo da própria indústria para contribuir com o tratamento de outro.

"A indústria tem dois passivos hoje, a geração de grandes efluentes e também a geração de resíduos com o lodo. Então, o que motivou foi justamente pegar esse resíduo para tratar o efluente da própria indústria", afirma.

A pesquisadora ressalta que a redução da cor não significa, necessariamente, a eliminação dos efeitos tóxicos sobre os organismos aquáticos. Por isso, o trabalho incluiu a avaliação ecotoxicológica e prevê novas análises após o tratamento biológico convencional, etapa que permitirá verificar o desempenho do material em outras condições.

FAUSTO TAKAO



Indústria 5.0: José Márcio, da CENIBRA, explica que a ferramenta que usa rede neural convolucional poderá tornar a informação mais acessível à operação

Sessão Técnica Indústria 5.0

A inteligência artificial aparece como ferramenta para ampliar a precisão e a agilidade do monitoramento ambiental. O trabalho "**Desenvolvimento de modelos para reconhecimento e classificação do tipo de flocos do lodo biológico por imagem utilizando rede neural convolucional – CNN**", de José Márcio Quintão Moreira, Harlei Miguel de Arruda Leite e Luciana Cerqueira Souza Solimani, da CENIBRA e do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), desenvolveu modelos capazes de identificar e classificar flocos do lodo biológico a partir de imagens microscópicas.

A pesquisa utilizou um banco de dados com 2 mil imagens e treinou três modelos: TinyVGG16, TinyResNet50 e o modelo Cenibra (CNB). Os três apresentaram acurácia superior a 96% na classificação de flocos difusos e compactos.

A forma dos flocos ajuda a entender como os microrganismos respondem às condições do tanque de aeração. Os flocos compactos tendem a sedimentar melhor. Já o aumento da proporção de flocos difusos pode sinalizar efeitos de compostos tóxicos ou um desequilíbrio entre a carga orgânica que chega ao tratamento de efluentes, a disponibilidade de oxigênio dissolvido e nutrientes.

A aplicação busca reduzir a subjetividade da análise manual, que depende da experiência do técnico responsável pela avaliação microscópica. José Márcio, que atua há 26 anos na CENIBRA e trabalha atualmente na área de pesquisa, explica que a ferramenta poderá tornar a informação mais acessível à operação.

"O grande ponto de virada é eliminar a subjetividade do técnico. A IA vai fazer isso para ele com o modelo que está treinado", afirma.

Além de padronizar a classificação, a ferramenta pode contribuir para decisões operacionais mais rápidas. O pesquisador explica que a informação obtida a partir das imagens pode ser compartilhada com os operadores para apoiar ajustes na estação de tratamento.

A próxima etapa do desenvolvimento prevê correlacionar as imagens com dados operacionais, como temperatura do efluente, nutrientes, demanda química de oxigênio e idade do lodo.

Sessão Técnica de Transformação Digital e Inovação

A transformação digital na indústria vai além da adoção de novas tecnologias. Para que ferramentas como inteligência artificial, análise de dados e sistemas integrados contribuam efetivamente para os resultados operacionais, é necessário compreender o estágio de preparação da organização, identificar lacunas e desenvolver as competências necessárias para incorporar as mudanças.

Essa integração entre gestão, pessoas e tecnologia é o ponto central do trabalho "**Transformação digital centrada em pessoas: a importância da maturidade digital e prontidão tecnológica – estudo de caso**", de Alessandro Rodrigues Frias, Sandro Breval Santiago e José Reinaldo Silva, desenvolvido em parceria entre a Universidade de São Paulo (USP) e a Oji Papéis Especiais.

A pesquisa utilizou a Plataforma Integrada de Medição de Maturidade (PIMM4.0) para avaliar o estágio de maturidade digital e prontidão tecnológica de uma fábrica de papel. O diagnóstico contemplou oito dimensões: produtos, estratégia, modelos de negócios, logística, manufatura e operações, pessoas e cultura, interoperabilidade e sustentabilidade. A partir dos resultados, foram identificadas oportunidades de evolução em quatro dimensões consideradas críticas: modelo de negócios, manufatura e operações, interoperabilidade e pessoas e cultura.

Na dimensão de modelo de negócios, o estudo apontou a oportunidade de avançar na manutenção preditiva apoiada por inteligência artificial. Em manufatura e operações, destacou a necessidade de ampliar a integração da coleta de dados, a modelagem digital e a otimização de processos. Já em interoperabilidade, identificou a possibilidade de migrar para soluções em nuvem que favoreçam a conectividade entre os sistemas corporativos. No eixo de pessoas e cultura, o diagnóstico revelou lacunas de capacitação digital e engajamento, indicando a necessidade de ações voltadas ao desenvolvimento profissional e à adaptação cultural.

ARQUIVO PESSOAL



Alessandro Frias, consultor de engenharia, o diagnóstico é uma etapa fundamental para orientar os investimentos e estabelecer prioridades na jornada de transformação

Para Alessandro Frias, consultor de engenharia, o diagnóstico é uma etapa fundamental para orientar os investimentos e estabelecer prioridades na jornada de transformação. "O Índice de Maturidade Digital obtido é a métrica-chave para medir o progresso da transformação digital, permitindo identificar onde estamos, para onde podemos ir e como chegaremos lá", explica.

Com base nesse levantamento, foi elaborado um roadmap de transformação digital, estruturando as iniciativas, metas e ações necessárias para a evolução da fábrica. Entre as propostas estão a integração de dados fabris, a aplicação de inteligência artificial na manutenção e na produção, a adoção de sistemas em nuvem e o fortalecimento das competências das equipes.

A preparação dos profissionais também recebeu atenção específica. Segundo o pesquisador, a implementação de um Novo Ciclo de Gestão de Desempenho, com Planos de Desenvolvimento Individual (PDI), e a realização de um Mapeamento Cultural foram algumas das iniciativas previstas para identificar necessidades de desenvolvimento e construir ações de engajamento. A proposta é ampliar a participação dos colaboradores e favorecer a aceitação das mudanças tecnológicas e organizacionais.

Essa abordagem parte do entendimento de que os resultados da transformação digital dependem da atuação conjunta de três pilares: a gestão, responsável por conduzir a visão estratégica; as pessoas, que garantem a adaptação e o engajamento; e a tecnologia, que oferece os recursos para viabilizar as mudanças.

Entre os resultados esperados com a execução do roadmap estão o aumento da eficiência operacional, a redução de custos, o prolongamento da vida útil dos ativos e o fortalecimento da tomada de decisão baseada em dados. A integração dos sistemas e o uso de ferramentas preditivas também podem contribuir para otimizar processos e ampliar a capacidade de antecipar falhas e necessidades de manutenção.

O estudo relaciona essa evolução à Indústria 5.0, conceito que amplia a transformação digital ao valorizar não apenas a automação e a eficiência tecnológica, mas também a participação humana nos processos industriais. Nesse sentido, a maturidade digital não se mede somente pela quantidade de ferramentas implantadas, mas pela capacidade de integrá-las à estratégia da organização e à rotina de trabalho das equipes.

Trabalhos selecionados – resumos originais

Os resumos a seguir reproduzem os textos originais dos trabalhos apresentados no Congresso ABTCP 2026, preservando o idioma, a redação e as palavras-chave dos autores.

1. Qualidade da Madeira

Influência da amostra de madeira na determinação da densidade de eucalipto mensurada no diâmetro à altura do peito

Stéffany de Lima Araujo1, Gustavo Jaske da Conceição[1], Thayanne Caroline Castor Neto1, Sâmara Magdalene Vieira Nunes1, Graziela Baptista Vidaurre1

[1]Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Brasil

RESUMO

A densidade básica é uma propriedade fundamental para a avaliação da qualidade da madeira de eucalipto, especialmente para fins industriais. Entretanto, sua determinação ao longo do fuste demanda maior tempo de coleta e processamento laboratorial. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a representatividade da densidade básica determinada no diâmetro à altura do peito (DAP) para estimar a densidade básica média do fuste de clones de eucalipto. Foram avaliadas 390 árvores de clones de eucalipto, considerando três tipos de amostras: disco, cunha única e cunhas opostas. Os valores obtidos no DAP foram comparados com a densidade média do fuste por meio do teste t pareado, além do ajuste de modelos de regressão linear simples. A densidade básica no DAP diferiu significativamente da densidade média do fuste em todos os tipos de amostras, com tendência de subestimativa. As diferenças médias variaram de -18,82 a -22,26 kg m-3. Apesar disso, os modelos apresentaram relação positiva entre DAP e fuste, com R^2 ajustado entre 0,642 e 0,684. A amostragem no DAP apresenta potencial para estimar a densidade média do fuste, desde que acompanhada de modelos de correção.

Palavras-chave: amostragem, modelagem, qualidade da madeira

2. Recuperação e Energia

Avaliação técnico-industrial do uso de polímero como auxiliar de drenagem em sistemas X-Filter na filtragem de licor verde

Eduardo Iamazaki [1], Fábio Menezes[1], Eduardo Poffo[1], Carlos Wolf [1], Eustenys M. P. Silva [2]

[1] Dorf Ketal Brasil LTDA., Brasil

[2] Veracel Celulose S.A., Brasil

RESUMO

A adoção de sistemas compactos de filtração de licor verde em substituição aos decantadores convencionais tem se consolidado em plantas modernas de celulose kraft, em virtude de sua maior eficiência na remoção contínua de dregs e de sua menor ocupação física. Não obstante, o desempenho desses sistemas permanece altamente dependente das características reológicas e interfaciais do licor processado, bem como da tendência de compactação da torta e de obstrução progressiva do meio filtrante. Neste contexto, o presente trabalho avaliou, em escala industrial, o desempenho do produto CLEARLIQ CP 7567B aplicado como auxiliar de drenagem em um sistema de filtração de licor verde. O produto foi inicialmente dosado de forma gradual, entre 0,5 e 4,0 ppm, em um único filtro, e depois aplicado em todos os filtros da área sob condições operacionais desfavoráveis à filtrabilidade. Na primeira etapa, a dosagem de 4 ppm apresentou a resposta operacional mais consistente, com aumento do volume por campanha e sem alteração relevante no perfil de pressão do filtro. Na segunda etapa, em cenários de baixa filtrabilidade do licor verde, a aplicação do auxiliar permitiu sustentar a produção da caustificação em regime estável. Em uma das campanhas, observou-se incremento de 64% no volume de licor verde filtrado, equivalente

a 1.216 m³/dia ou 50 m³/h adicionais. Em outra condição crítica, com índice de filtrabilidade laboratorial de 0,20, foi possível manter a produção em 415 m³/h, evitando a redução histórica para aproximadamente 380 m³/h. Os resultados obtidos indicam que o produto CLEARLIQ CP 7567B constitui uma ferramenta efetiva para ampliação da drenagem, estabilização operacional e mitigação de perdas produtivas em sistemas de filtração de licor verde submetidos a condições transitórias adversas.

Palavras-chave: Licor verde, filtração sob pressão, auxiliar de drenagem, dregs

3. Celulose

Avaliação de agentes quelantes na indústria de celulose

Eduarda Freitas Januário Giaccheto1, Nadia Gabriela Milaneze[1]
[1]Contech Produtos Biodegradáveis LTDA., Brasil

RESUMO

O branqueamento da polpa celulósica é uma das etapas mais caras e críticas da produção de celulose. A presença de íons metálicos, como ferro, manganês e cobre, promove a decomposição prematura do peróxido de hidrogênio, resultando em um consumo exacerbado deste agente oxidante e, consequentemente, o aumento do custo do processo. Nesse contexto, os quelantes atuam capturando os íons metálicos e formam complexos solúveis em água, que são facilmente removidos na etapa de desaguamento. Sua aplicação prévia ao branqueamento com peróxido de hidrogênio, possibilita estabilizar a reação, evitar o consumo desnecessário do oxidante, aumentar o rendimento da polpa branqueada e reduzir a variabilidade da alvura final. Os tipos de quelantes mais comuns na indústria são o EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) e o DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético), sendo amplamente aplicados no pré-tratamento, devido à alta capacidade de sequestrar ferro e manganês. Há também os fosfonatos, como HEDP (ácido 1-hidroxietileno-1,1-disfosfônico) e ATMP (ácido amino trimetileno fosfônico), que se destacam pelo controle de incrustação, atuando em concentrações baixas e com boa estabilidade térmica, sendo eficazes até mesmo em água com dureza elevada. Portanto, além de ser um grande aliado no processo de branqueamento, os quelantes também atuam na prevenção de incrustações nas superfícies de equipamentos, cujos depósitos comprometem a operação e exigem limpezas mais frequentes. Um exemplo prático são os chuveiros para limpeza de aplicação de produtos químicos, a deposição de sais impede a aplicação adequada, prejudicando a eficiência e aumentando as manutenções. A aplicação de quelantes no circuito mantém esses sais em solução, protegendo e estabilizando a operação.

Palavras-chave: Quelantes, branqueamento, incrustação

4. Sustentabilidade

Economia circular na Suzano, Jacareí: o potencial do dregs e grits no mercado cimentício

Lidiane Menezes Costa[1], Miquéias Gontijo Delabrida[2], Fernando Pacheco[2]
[1]Suzano SA., Brasil
[2]Hipermix Brasil., Brasil

RESUMO

Os resíduos sólidos inorgânicos conhecidos como dregs e grits são subprodutos da etapa de caustificação no processo de produção de celulose, gerados durante a conversão do licor verde em licor branco. Assim como o carbonato de cálcio, esses materiais possuem alto potencial de reaproveitamento, tanto como corretivos de solo quanto na construção civil. Na Unidade Suzano Jacareí-SP, a destinação desses resíduos era voltada exclusivamente para a agricultura até 2025, mas testes laboratoriais recentes identificaram teores de óxido de cálcio (CaO) favoráveis para a fabricação de produtos cimentícios.

Essa nova aplicação surge da busca de fabricantes de cimento por parceiros geradores de resíduos localizados próximos às suas plantas de moagem. Essa estratégia otimiza a logística e reduz custos em comparação ao uso de matérias-primas convencionais, entregando um desempenho técnico muito próximo ao do cimento tradicional. O diferencial desse processo é a criação do chamado "cimento ecológico" ou "cimento verde", que representa uma das principais estratégias para a descarbonização do setor.

Diferente do cimento Portland comum, essa tecnologia utiliza matérias-primas alternativas e reduz drasticamente a emissão de CO_2 ao eliminar quase que totalmente a necessidade do uso de fornos e combustíveis fósseis. Com a implementação deste projeto, a Unidade Suzano Jacareí consolida uma segunda alternativa sustentável para o direcionamento de seus resíduos, fortalecendo a economia circular e diminuindo a pegada de carbono da construção civil.

Palavras-chave: dregs e grits, construção civil, cimento verde, economia circular

5. Biorrefinaria

Bioeconomia florestal: análise comparada de competitividade e convergência tecnológica entre Brasil e mercados globais

Mauro Donizeti Berni[1], Sergio Valdir Bajay[1], Ivo Leandro Dorileo[1], Bruna Souza Moraes[1], Paula Meyer Soares[2]
[1]Centro Paulista de Bioenergia e Bioprodutos, CP2b, Núcleo Interdisciplinar de Panejamento Energético, NIPE, UNICAMP, Brasil
[2]Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia, FCTE, Campus Gama, Universidade de Brasília (UNB), Brasil

RESUMO

O presente artigo realiza uma análise comparada da bioeconomia no setor de celulose e papel, contrastando a maturidade tecnológica global com o protagonismo competitivo do Brasil no horizonte de 2034. O objetivo principal é avaliar como a integração de biorrefinarias de quarta geração e a convergência tecnológica redefiniram o valor agregado das fibras florestais. No cenário internacional, observa-se a consolidação de polos bioeconômicos na Escandinávia e América do Norte, focados em químicos de alto valor e combustíveis sustentáveis de aviação (SAF). Paralelamente, o Brasil consolidou sua liderança global ao converter suas plantas industriais em ecossistemas de carbono negativo, aproveitando a vantagem comparativa do crescimento rápido do eucalipto e a integração com mercados de

créditos de biodiversidade. A análise destaca que, enquanto o mercado global prioriza a substituição de plásticos de origem fóssil, o modelo brasileiro se diferencia pela escala de produção de lignina modificada e nanocelulose para a indústria automotiva e farmacêutica. Conclui-se que a competitividade brasileira no próximo decênio será sustentada por marcos regulatórios eficientes e pela digitalização profunda das florestas, permitindo que o País não apenas exporte *commodities*, mas lidere a exportação de soluções tecnológicas para a descarbonização industrial global.

Palavras-chave: biorrefinaria, descarbonização, lignina, materiais avançados

6. Florestal

Avaliação do uso de cal apagada (hidróxido de cálcio) na estabilização de solos para construção de estradas florestais

Kaique Mesquita Gonçalves[1], Tarciso Andrade Matos[1], Jean Alberto Sampietro[2]

[1]Veracel Celulose S.A, Brasil

[2]Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Brasil

RESUMO

O setor florestal brasileira demanda elevado nível de planejamento, construção e manutenção de estradas, que desempenham pape l estratégico em todas as fases do empreendimento, do plantio à colheita, além de representarem parcela significativa dos custos operacionais. Nesse contexto, a estabilização de solos constitui etapa fundamental para garantir o desempenho estrutural das vias e a otimização dos custos, podendo ser realizada por métodos mecânicos ou químicos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica do uso de cal apagada (hidróxido de cálcio), proveniente de resíduos industriais da produção de celulose, na estabilização química de solos aplicados à construção de estradas florestais. O estudo foi conduzido em Argissolo no município de Eunápolis, BA, sendo estruturado em quatro etapas: (i) caracterização tecnológica do solo, com análise granulométrica e avaliação do comportamento em diferentes profundidades; (ii) caracterização das misturas solo-cal, considerando diferentes teores e períodos de cura; (iii) determinação dos parâmetros de compactação e avaliação da capacidade de suporte por meio do ensaio CBR; e (iv) aplicação dos tratamentos em trecho experimental, com cinco parcelas: testemunha, cal a 2% (20 cm), 3% (20 cm), 8% (20 cm) e 2% (40 cm). A resistência mecânica in situ foi avaliada por meio do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP), após a execução do trecho experimental. A umidade ótima de compactação foi de aproximadamente 14%, considerando energias normal e intermediária. Também foram analisadas variáveis de desempenho superficial, incluindo área movimentada (AM) e afundamento em trilha de roda (ATR), após ensaios de tráfego sob condições altas de umidade. Os resultados de laboratórios indicaram que a testemunha apresentou valores de CBR de 8% a 40 cm e 20% a 20 cm. Com a adição de cal, observou-se incremento significativo da capacidade de suporte, com melhorias de até 128% e 108%, conforme o teor e a profundidade. De forma geral, a estabilização com cal promoveu redução da plasticidade e aumento da resistência mecânica.

Os melhores desempenhos foram observados nos tratamentos com 2% e 3% de cal a 20 cm, sem diferença estatística significativa, inclusive para AM e ATR. Conclui-se que a estabilização química com cal apagada é tecnicamente eficiente para estradas florestais, destacando-se como alternativa sustentável pelo aproveitamento de resíduos industriais e ganhos operacionais.

Palavras-chave: estabilização de solos, cal apagada, estradas florestais, capacidade de suporte (CBR)

7. Embalagem

Reducing chemicals by reducing chemicals

Jukka Heinonen[1], Risto Nykänen[1]

[1]Aikawa Fiber Technologies Oy, Finland

ABSTRACT

In modern papermaking, increasing chemical complexity at the wet end has led to growing challenges related to chemical interactions, process instability, and overall cost. One frequently overlooked contributor to these challenges is the widespread use of defoamer chemicals. While defoamers are applied to control entrained air and foam, both academic studies and practical mill experiences show that they may also interfere with the performance of other wet end additives, such as retention aids, strength agents, sizing chemicals, and optical additives. Defoamer chemicals can hinder the intended functionality of other chemical systems by disrupting flocculation mechanisms, reducing fiber–filler bonding efficiency, and negatively affecting chemical fixation. These interactions often lead to compensatory overdosing of multiple chemicals, increasing both chemical consumption and process variability.

This paper presents operational findings demonstrating that instead of defoamers, entrained air can be controlled by compact short circulation system equipped with mechanical deaeration located immediately after the wire. When entrained air is removed in early phase, the need for defoamer chemicals is significantly reduced or eliminated. As a result, improved chemical efficiency was observed across wet end system. Retention and drainage performance stabilized, runnability improved, sizing response became more predictable, and overall chemical dosages were reduced without compromising paper quality.

The results highlight that addressing the root cause of air management mechanically in early phase, rather than chemically, can simplify the wet end chemistry environment. “Reducing chemicals by reducing chemicals” illustrates how eliminating one problematic additive can unlock system-wide benefits, leading to lower chemical consumption, improved process stability, and a more sustainable papermaking operation.

Keywords: wet end additives, mechanical deaeration, sustainable papermaking

8. Papel

Development of a sustainable cutting fluid for paper converting and performance evaluation via Reichert test

Noemi Kimura[1], Laila Nazari[2], Luca Salvadorini[2], Frank Adolf[2], Rafael del Corral Sánchez[2], Thomas Brandenburger[2], Joel Lopes de Carvalho[1]

[1]Paper Research and Development Department, PETROFER Brazil, São Paulo, Brazil

[2]Paper Chemicals Division, PETROFER, Hildesheim, Germany

ABSTRACT

Among the stages of paper converting, the cutting process is critical to the final product quality. Its efficiency is influenced by the cutting fluid used, which acts by reducing friction, dissipating heat, and increasing blade lifetime. With increasing operating speeds and stricter environmental and safety requirements, the paper industry faces the challenge of replacing conventional fluids with efficient and sustainable solutions. The replacement of mineral oil is driven by the presence of MOSH and MOAH (Mineral Oil Saturated and Aromatic Hydrocarbons), which present accumulation potential and carcinogenic risk. In this context, a water-based, mineral oil-free cutting fluid, Sawlube PAP 21, was developed, formulated from a blend of polyethylene, silicone, and tribological additives, and designed for log saw systems, aiming to achieve high performance combined with sustainability. Its formulation complies with international certifications such as Ecolabel, Nordic Swan, Blue Angel, and BfR XXXVI, enabling its use in papers intended for food contact. Performance evaluation was carried out using the Reichert test, comparing it with the most widely used competitor fluid and with water. At a 50% dilution, commonly applied to balance performance and cost, Sawlube PAP 21 showed a wear scar area of 15.3 mm², significantly lower than the competitor fluid (22.8 mm²) and water (34.4 mm²), corresponding to a reduction of approximately 33% and over 55%, respectively. At 33% dilution, it maintained superior performance (19.2 mm² vs. 26.2 mm²), while in the concentrated form it reached 11.9 mm², compared to 18.3 mm² for the competitor, demonstrating robustness under different conditions. These results indicate higher efficiency in friction and wear reduction, with potential to extend blade lifetime, improve cutting quality, and reduce operational costs, contributing to increased productivity and sustainability in the converting process.

Keywords: cutting fluid, tribology, paper converting

9. Manutenção

Mitigação de ressonância estrutural em rosca extratora de cavacos por análise de vibração, ODS e FEM

Clodoaldo Borges Chagas[1] Guilherme Zaccano Gomes[1], Renato Nascimento de Castro[1], Leandro de Carvalho[1]

[1]SKF do Brasil Industrial, LTDA., Brasil

RESUMO

Este estudo investiga o comportamento dinâmico da rosca extratora de cavacos de madeira do silo de uma planta industrial de celulose, que apresenta níveis elevados de vibração em rotações próximas a 100% da rotação nominal (1800 RPM). Essa condição limitava a operação a 90% e impacta a produtividade. Foram empregadas análises convencionais de vibração, Operating Deflection Shape (ODS) e simulação por elementos finitos (FEM). Medições online em duas condições diferentes de operação revelaram picos em 18,4 Hz (1x GMF4 da rosca), 20,6-20,8 Hz (sem característica operacional conhecida) e 36-39 Hz (próximo a 2x GMF4 da corrente). A análise ODS identificou movimentos fora de fase nas bases do redutor nas direções axial, horizontal e vertical. O modelo FEM obteve a validação por similaridade na frequência e na forma modal (ex.: 39,8 Hz experimental ≈ 39,94 Hz numérico), e confirmou ressonância nessa região devido à proximidade com frequências operacionais. Propõe-se reforço estrutural no fundo e base do redutor, o que eleva a frequência natural de 39,94 Hz para 55,53 Hz e elimina a condição ressonante. As recomendações incluem verificação de alinhamentos, torqueamento hidráulico, fixações adequadas e monitoramento de vibrações. Os resultados validam a integração de técnicas experimentais e numéricas para otimização de equipamentos na indústria de celulose e papel.

Palavras-chave: ressonância estrutural, modo de vibrar, análise ODS, elementos finitos FEM, rosca extratora, análise de vibração industrial

10. Meio Ambiente

Aplicação de biocarvão de lodo de indústria de polpa de celulose no tratamento do efluente bruto

Adrielly Alves da Silva[1], Filipe dos Santos Alves[1], Marcelo Cardoso[1], Maria Clara V. M. Starling[1]

[1]Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Brasil

RESUMO

A geração de efluentes líquidos complexos na indústria de celulose, especialmente antes do tratamento biológico, representa um desafio ambiental devido à elevada carga orgânica, cor e toxicidade. Neste estudo, avaliou-se a aplicação de biocarvão ativado com NaOH, produzido a partir do lodo gerado na própria indústria, como alternativa para o tratamento de efluente bruto, com ênfase na remoção de cor e na toxicidade crônica. Os ensaios foram conduzidos em diferentes valores de pH, e a toxicidade foi avaliada com a microalga Raphidocelis subcapitata. O desempenho do processo foi fortemente dependente do pH, com maiores remoções de cor em meio ácido. Em pH 3, a remoção foi de 97,24 ± 0,06% (IC95%: 97,09–97,38), enquanto em pH 5 atingiu 92,04 ± 0,44% (IC95%: 90,95–93,13). Em pH 7 e 11, as remoções foram de 36,87 ± 0,44% (IC95%: 35,79–37,96) e 10,22 ± 2,01% (IC95%: 5,23–15,21), respectivamente. Embora inferior aos valores observados em meio ácido, o desempenho obtido em pH 7

para remoção de cor pode ser considerado relevante, uma vez que o material foi aplicado diretamente em efluente bruto, caracterizado por maior complexidade e carga poluente. Nessa perspectiva, resultados ainda mais expressivos podem ser esperados em efluentes previamente submetidos ao tratamento biológico, nos quais o biocarvão ativado com NaOH poderá atuar como etapa de polimento. Ensaios ecotoxicológicos após aplicação do biocarvão apresentaram FT=64, demonstrando remoção parcial da toxicidade crônica que sugere uma maior redução da toxicidade crônica após o tratamento biológico. Os resultados demonstram o potencial do biocarvão ativado com NaOH como alternativa para o tratamento complementar de efluentes da indústria de polpa de celulose, com destaque para a elevada eficiência na remoção de cor e para a valorização de um resíduo industrial em uma abordagem alinhada à economia circular.

Palavras-chave: biocarvão, efluente de celulose, toxicidade aquática, Raphidocelis subcapitata, economia circular

11. Indústria 5.0

Desenvolvimento de modelos para reconhecimento e classificação do tipo de flocos do lodo biológico por imagem utilizando rede neural convolucional – CNN

José Márcio Quintão Moreira[1], Luciana Cerqueira Souza Solimani1 Harlei, Miguel de Arruda Leite[2]

[1]CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira, Brasil

[2]ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil

RESUMO

A Inteligência Artificial (IA) tem revolucionado diversas áreas do conhecimento, destacando-se no reconhecimento de imagens e na visão computacional, com aplicações em setores como indústria, saúde e monitoramento ambiental. O processamento digital de imagens envolve etapas como aquisição, pré-processamento, segmentação e classificação, permitindo a extração de informações relevantes. Estudos recentes demonstram o uso de redes neurais convolucionais, como VGGNet, AlexNet, ResNet, U-Net e YOLO, na análise de imagens de microrganismos, alcançando alta acurácia e superando métodos tradicionais em precisão e eficiência. Neste estudo, são apresentados modelos de redes neurais convolucionais (CNN) para identificar e classificar imagens de flocos em lodo biológico, com o objetivo de distinguir flocos difusos, constituídos por bactérias filamentosas, que também são importantes na formação estrutural do floco e compactos que é uma matriz gelatinosa, de forma esférica, que facilita a união de novos microrganismos, resultando na formação de flocos de maior tamanho. Foram treinados três modelos: TinyVGG16, TinyResNet50 e o modelo Cenibra (CNB), utilizando um banco de dados composto por 2.000 imagens, com aplicação de técnicas de pré-processamento, como redimensionamento, padronização e normalização. Em seguida, os dados foram divididos em conjuntos de treinamento e teste, sendo 70% destinados ao treinamento e 30% ao teste, mantendo-se a proporção entre as classes, a fim de evitar viés no classificador. Os resultados foram avaliados por meio de métricas como matriz de confusão, curvas ROC e análise do trade-off viés-variância, evidenciando acurácia superior a 96% na classificação dos flocos para os três modelos. Desta forma, os modelos propostos demonstraram capacidade computacional para a otimização do monitoramento da estação de tratamento de efluentes em plantas industriais e em projetos biotecnológicos.

Palavras-chave: inteligência artificial, redes neurais, lodo biológico, acurácia, métricas

12. Transformação Digital e Inovação

Transformação digital centrada em pessoas: a importância da maturidade digital e prontidão tecnológica – estudo de caso

Alessandro Rodrigues Frias[1,2], Sandro Breval Santiago[1], José Reinaldo Silva[1]

[1]Departamento de Engenharia Mecatrônica – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Brasil

[2]Oji Papéis Especiais, Brasil

RESUMO

A Transformação Digital tem assumido papel decisivo no reposicionamento estratégico das organizações industriais, que buscam responder às exigências crescentes da competitividade global, da sustentabilidade e da personalização em massa. Nos ambientes industriais, essa transformação está diretamente associada às mudanças estruturais para a Indústria 4.0 e 5.0, que consolidam a digitalização, a centralidade humana e a automação como pilares essenciais. A Transformação Digital centrada em pessoas enfatiza o protagonismo humano na digitalização, assegurando que a integração tecnológica reflita valores e necessidades sociais, sendo crucial para a adaptação cultural, o engajamento da força de trabalho e a sustentabilidade organizacional. Essa perspectiva oferece não apenas ganhos operacionais imediatos, mas também uma base sólida para transições futuras, como a Automação 5.0 e o avanço rumo às plantas industriais autônomas. O objetivo central deste estudo é demonstrar a relevância da maturidade digital e da prontidão tecnológica na jornada de Transformação Digital, por meio de um estudo de caso em uma fábrica de papel, utilizando o PIMM4.0 (Plataforma Integrada de Medição de Maturidade), modelo brasileiro voltado à avaliação de maturidade e prontidão digital no contexto da Indústria 4.0. O diagnóstico de maturidade digital e prontidão tecnológica foi conduzido em oito dimensões (produtos, estratégia, modelos de negócios, logística, manufatura e operações, pessoas e cultura, interoperabilidade e sustentabilidade), permitindo a elaboração de um roadmap estratégico e personalizado de Transformação Digital. Os resultados obtidos contribuem para avanços teóricos e práticos no campo da Transformação Digital Industrial, oferecendo insights que colocam as pessoas no centro do processo e preparam o setor de papel e celulose para os desafios da era digital, promovendo equilíbrio entre Gestão, Pessoas e Tecnologia.

Palavras-chave: Indústria 5.0, automação 5.0, transformação digital, celulose e papel ■