



Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto. Parte 03: Lodos & Lodos

Celso Foelkel

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

Agosto 2010

Empresas patrocinadoras



Agradecimentos



Gostaria de externar os meus mais sinceros agradecimentos a algumas entidades/organizações que me apoiaram com textos, materiais técnicos, fotos e muito incentivo para a elaboração desse capítulo acerca de lodos para nosso livro virtual sobre os eucaliptos. Sem essa colaboração, nosso texto ficaria menos rico e as literaturas não seriam tão abundantes para que vocês leitores pudessem descarregar para leitura.

São elas:

- ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel;
- TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry;
- Fibria;
- International Paper do Brasil;
- CELCO – Celulosa Arauco y Constitución – Plantas Valdivia e Nueva Aldea/Chile;
- Celulose Riograndense – CMPC em Guaíba/Brasil;
- VIDA - Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico Ltda.

Algumas pessoas amigas também foram de extremo valor enviando-me literaturas, fotos, dados de avaliações, sugestões, etc.

Foram as seguintes, em ordem alfabética de primeiro nome:

- Ana Gabriela Monnerat Carvalho Bassa;
- Fábio Poggiani;
- Fernando Ramirez;
- José Agostinho Gomes;
- Leonardo Souza de Caux;
- Miguel Osses;
- Nei Rubens Lima;
- Renata Maltz;
- Wanderlei Perón.

Todos, com sua cooperação e sugestões ajudaram a fazer dessa edição do **Eucalyptus Online Book** algo de muito útil para a Sociedade técnica desse nosso setor de celulose e papel. Assim espero e acredito. Obrigado a todos, e a vocês também amigos leitores, por prestigiarem nosso esforço em benefício do melhor entendimento sobre nosso setor.

A todos, um abraço fraterno e um enorme muito obrigado.

Celso Foelkel

=====

Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto. Parte 03: Lodos & Lodos

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- LODOS & LODOS: CONCEITUANDO LODOS COMO RESÍDUOS DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
- UTILIZAÇÕES E DESTINAÇÕES PARA OS LODOS DA FABRICAÇÃO DA CELULOSE E DO PAPEL
- CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA DE LODOS: O QUE ANALISAR ?
- TOXICIDADE, ECOTOXICIDADE E PERICULOSIDADE DE LODOS
- DESAGUAMENTO E SECAGEM DE LODOS
- LODOS DE ETA'S – ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS
- LODOS DA FABRICAÇÃO DE CELULOSE DE MERCADO
- LODOS DA FABRICAÇÃO DO PAPEL
- BIOSSÓLIDOS APLICADOS EM FLORESTAS PLANTADAS
- INCINERAÇÃO E QUEIMA DE LODOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
- COMPOSTAGEM DE LODOS
- USO AGRÍCOLA E FLORESTAL PARA OS LODOS
- DESTINANDO LODOS PARA ATERROS
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto. Parte 03: Lodos & Lodos

Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br

www.eucalyptus.com.br

www.abtcp.org.br

LODOS & LODOS: CONCEITUANDO LODOS COMO RESÍDUOS DE PROCESSOS INDUSTRIAIS



Lodos – mais do que um tratamento ou uma disposição final – uma necessidade de solucionar a geração em sua origem

Lodos são materiais pastosos e úmidos, de aspecto homogêneo, coloração escura, odor característico, ricos em matéria orgânica e água e que são gerados em processos industriais de conversão na forma de resíduos sólidos. Eles são abundantes em praticamente todos os processos de manufatura que se utilizam de água. Isso porque a água captada dos cursos d'água em geral demanda tratamento para sua purificação. Desse tratamento, gera-se o primeiro tipo de lodo residual, que é o **Lodo das ETA's** – Estações de Tratamento de Águas. A água purificada entra nas

diversas etapas de fabricação no processo industrial e acaba se contaminando com sais minerais, terra, areia, compostos orgânicos, óleos e graxas, diversos tipos de sólidos que ficam nela suspensos, etc., etc. A conhecida poluição hídrica dos efluentes exige tratamento final para que o efluente a ser retornado ao corpo de água possa ter características compatíveis para ser recebido de volta. Essa purificação dos efluentes é cada vez mais restritiva e exigente, pois aumentam a cada dia os conflitos pelo uso da água no planeta. Os efluentes industriais descartados em rios, lagos e oceanos não devem e não podem causar efeitos negativos significativos nos mesmos. Isso se consegue com tratamentos de efluentes que objetivam remover a maior poluição possível desses efluentes. Sólidos suspensos acabam sendo separados por gradeamento, peneiramento ou decantação; enquanto a matéria orgânica dissolvida precisa ser convertida em uma fase sólida capaz de ser removida por decantação, filtração, flotação, centrifugação ou outra forma eficiente de separação das fases sólidas e líquidas. A maneira mais comum de se tratar a poluição orgânica é através de tratamentos biológicos, onde microrganismos especializados àqueles tipos de compostos orgânicos presentes nos efluentes, alimentam-se dos mesmos. Com isso, esses organismos obtêm energia metabólica e fixam o carbono da poluição orgânica em seus próprios corpos, formando suas células. Quando essa população microbiológica alcança um certo nível de crescimento em tamanho e número de indivíduos, esses microrganismos são separados na forma de lodos biológicos. Esse tipo de lodo é outro lodo nas indústrias e muitas vezes referido como **Lodo Secundário Biológico**.



Lodos biológicos

O termo secundário deriva do fato que em geral, nas estações de tratamento de efluentes, a etapa primária consiste na remoção de sólidos suspensos que decantam com facilidade (areia, fibras celulósicas, terra, serragens, partículas úmidas de casca, cargas minerais usadas na fabricação do papel, etc.). Esses materiais sólidos e úmidos também saem na forma de um lodo organomineral com muita umidade, conhecido como **Lodo Primário**, uma vez que foi produzido na etapa primária do tratamento.



Lodo primário do papel reciclado - rico em fibras e cargas minerais

Nas fábricas integradas de celulose e papel e nas fábricas de papel reciclado, o lodo primário (às vezes, conhecido como **Lodo do Papel**) é bastante rico em impurezas minerais, que são resultantes da separação ou perdas de cargas minerais utilizadas na fabricação do papel ou separados na preparação da massa a partir das aparas recicladas.

Outro lodo importante e relativamente problemático e abundante devido aos potenciais problemas de patogenicidade, é o lodo resultante do tratamento do efluente sanitário das fábricas e cidades. Conhecido vulgarmente como **Biossólido**, trata-se de um lodo orgânico que possui além de microrganismos inócuos à saúde humana e que degradam a poluição orgânica, também microrganismos potencialmente patogênicos e causadores de doenças a animais e pessoas humanas. Isso porque eles são resultantes do tratamento do esgoto sanitário, que contem excrementos humanos, misturados a outros tipos de águas servidas (refeitórios, banhos, restaurantes, etc.) que provêm da população.

Como os diferentes tipos de lodos são originados de fontes e processos diferentes, eles possuem obviamente composições e características diferentes. Além disso, como as cargas químicas e orgânicas variam substancialmente nas estações de tratamento de águas e efluentes, devido isso a inúmeros fatores, há uma tendência das características físicas, químicas, microbiológicas e o próprio comportamento dos lodos serem variáveis. Isso é até certo ponto muito fácil de entender; primeiro porque as

fábricas captam águas dos rios que apresentam composições variáveis, o que pode até mesmo ser notado pela cor da água dos rios. Também, dentro das fábricas existem variações de produção em quantidades e qualidades de produtos, operações de limpeza de equipamentos e de áreas, etc., etc. Tudo isso afeta a qualidade dos efluentes setoriais e compromete a entrada de concentrações regulares de poluentes para tratamento nas estações de purificar efluentes.

No setor de papel reciclado, acontece a mesma coisa, sendo o maior complicador a qualidade das aparas de papel sendo processadas para recuperação das fibras celulósicas. Quanto maior o teor de cargas minerais e contaminantes no papel, maior a geração de lodo primário, caso esses minerais precisem ser retirados (como é o caso da fabricação de papéis sanitários reciclados de cor branca). Entretanto, há setores de reciclados de papel, como o da fabricação de cartões, em que os minerais podem ser incorporados sem problemas na fabricação da camada interna do cartão, a de menor exigências em especificações técnicas.

Um outro tipo de lodo menos comum nas nossas fábricas de celulose e papel é o **Lodo Químico** obtido pela floculação de material orgânico finamente dissolvido/misturado e de difícil remoção biológica. Consegue-se isso pela floculação desses compostos com um floculante enérgico, seguindo-se uma separação de fases por flotação, decantação ou centrifugação. Essa floculação pode ocorrer ainda na fase primária ou em uma etapa terciária, após o tratamento biológico. Os floculantes mais comuns utilizados são: sulfato de alumínio ferroso ou férrico, PAC - policloreto de alumínio, taninos floculantes, etc.). Esse lodo, denominado de **Lodo Químico Terciário** (na maioria dos casos), é bastante rico em residuais do floculante e de polímeros utilizados para seu desaguamento (em geral, material difícil de desaguar).



Lodos terciários químicos

Já que os lodos são muito distintos em suas propriedades e composições, as empresas tendem a misturar os mesmos, abdicando o

direito e a vantagem de tentar reduzir e otimizar a sua geração e o tratamento em separado, para provável reciclagem ou reuso. Toda vez que misturarmos coisas muito diferentes e sem uma padronização de controle, perderemos as necessárias informações para otimizar e melhorar o processo. Dessa forma, é comum a mistura dos lodos de estação de tratamento de águas com lodos primários, secundários e até terciários do tratamento de efluentes. Até mesmo o efluente sanitário é misturado ao efluente bruto, já que é visto como fonte de nutrientes para a colônia de microrganismos.

Lodos são inevitavelmente gerados nos processos de fabricação de celulose e papel. Eles serão gerados em quantidades que podem variar entre 10 a 400 kg secos por tonelada de produto vendável sendo produzido. As gerações mais altas ocorrem na fabricação de papel reciclado baseado em aparas mistas ricas em cargas minerais. Nessas operações ocorre também muita perda de fibras fragmentadas e fibrilas degradadas, que são incorporados no lodo primário.

O grande problema dos lodos é sua enorme afinidade pela água. Seus constituintes orgânicos são bastante hidrofílicos, de granulometria diminuta, muito difíceis de serem desaguados. Os teores de umidade mais usuais de lodos de fabricação de celulose e papel variam entre 55 a 85%, o que corresponde a consistências entre 15 a 45%. Toda a água que acompanha os lodos, mesmo após todo o esforço para se prensá-los ou centrifugá-los, é ainda enorme. Essa água aumenta de forma exponencial o peso e o volume dos lodos.

Sintam o drama desse problema:

Uma tonelada absolutamente seca de lodo pesa 6,7 toneladas, quando o lodo está a 15% de consistência; ou então, 3,3 toneladas, quando a 30%. No primeiro caso, para cada tonelada seca de material do lodo, teremos 5,7 toneladas de água, filtrado ou efluente acompanhando o lodo. Esse efluente na forma de água também carrega seus poluentes (cloretos, sódio, organoclorados, etc.) para complicar as coisas. Essa água toda precisa ser movimentada, reciclada, disposta ou enterrada nos aterros. Muitas vezes, os lodos são tão úmidos e pastosos, que só podem ser aterrados se forem misturados a outro resíduo sólido mais seco (cinzas de caldeira de biomassa, dregs/grits, etc.), ou à terra.

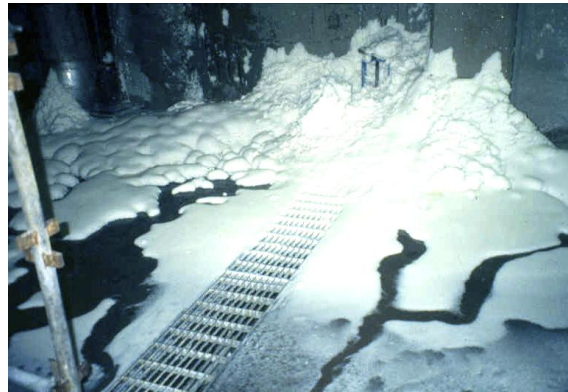


Lodos mesclados com cinzas e dregs/grits para facilitar compactação em aterros

Em função disso tudo, os lodos “atrapalham” as operações das fábricas, que se sentem obrigadas a se livrarem deles. Uma pena que pensem a ajam assim, em grande parte dos casos. Ao invés de se buscar uma destinação final custosa em um aterro industrial; o mais lógico seria a redução na sua geração. Mesmo a reciclagem dos lodos acaba sendo mais eco-ineficiente do que a redução em sua geração (menos perdas de poluentes gerarão menos lodos - muito simples e lógico). Conhecidas as razões de cada lodo gerado, é possível se atuar sobre as causas de geração de formas preventiva e corretiva. Ao invés de atuar sobre as consequências, vamos atuar sobre as causas raízes.

A primeira das soluções para os lodos não está portanto em encontrar usos e aplicações para os mesmos via estações de reciclagens. Essa é a tarefa número 2, depois de termos reduzido a geração ao nível mínimo por ações de otimização nos nossos processos.

Vejam o exemplo do lodo da fabricação do papel. Eles podem ter muitas fibras e cargas minerais, que são perdas do processo. Reduzindo essas perdas em todos os pontos onde elas são descartadas, estaremos reincorporando material valioso ao processo industrial. O resultado imediato é a menor geração de lodos, com redução de pesos, volumes e custos nessas operações com lodos. Fácil de entender, difícil de compreender o porque é de tão difícil colocação em prática em muitas fábricas do nosso e de outros setores industriais.



Fibras perdidas para efluentes viram de imediato poluição e depois lodos
Fibras perdidas são insumos valiosos desperdiçados

A melhoria das operações, a implantação de programas de gestão de perdas e de desperdícios têm como imediata consequência a redução da geração de lodos: é uma verdade que merece ser comprovada por aqueles que ainda não pensaram sobre isso. Lembrem-se apenas que uma fábrica que gera 20 toneladas secas de lodo primário por dia a 35% de consistência estará tendo que manusear e movimentar diariamente 57 toneladas de lodo úmido. Com uma redução de 5 toneladas secas por dia, esse valor cai para 43. Já se ocorrer uma otimização no desaguamento dos lodos, simultaneamente a essa redução de 5 toneladas na geração, e esse lodo passar a ser tirado a 50% de sólidos, o novo peso de lodo úmido gerado passará a ser 30 toneladas. Ou seja, quase metade do valor original.

Amigos, são coisas simples, factíveis e absolutamente dentro da competência de nossos técnicos. Basta querer fazer e fazer mesmo.

A gestão dos lodos implica em se identificar as fontes geradoras, bem como as quantificações e caracterizações dos lodos gerados. Também implica em se especificar muito bem as cargas de poluentes setoriais (fibras perdidas, cargas minerais e materiais orgânicos dissolvidos) e os lodos sendo gerados. O parâmetro mais fácil e eficiente para se especificar um lodo como resíduo sólido é a sua consistência. Infelizmente, isso não é muito comum nas fábricas; poucos são os que tratam os lodos com o mesmo nível de atenção e compromisso como os dados aos produtos finais de processo. Entretanto, os lodos são hoje matérias-primas de muitos outros processos industriais, como veremos ao longo desse capítulo. Algumas vezes, os lodos entram em processos paralelos dentro da mesma empresa; como é o caso da queima de lodos em caldeiras de força ou de recuperação kraft para gerar energia. Por isso, as especificações e o controle de qualidade dos lodos deveria definitivamente ser um compromisso incorporado dentro dos requisitos normativos do sistema de garantia de qualidade da empresa. Com

isso, estabelece-se um melhor nível de gestão sobre eles, bem como sobre os benefícios da geração de lodos melhor qualificados.

Tenho visto atualmente muitas empresas de reciclagem clamando por mais lodos primários e por lodos biológicos. Também existem muitos negócios nos mercados do setor envolvendo lodos. Se alguém se interessa por comprar nossos lodos, é porque os nossos desperdícios passam a ser úteis em algum outro processo industrial, através da reciclagem. Eu entendo muito bem que a reciclagem é uma medida ambiental muito válida, mas a primeira e mais vital de todas as medidas ambientais com lodos, e quaisquer outros resíduos sendo reciclados, seria a prevenção e redução de geração na origem. Não importa que vivamos em uma Sociedade consumista que tem seus olhos voltados para a reciclagem como forma de atenuar seus pecados de consumidores exagerados. A mais importante de todas as medidas para tratar resíduos é combater os mesmos na sua geração, nas causas que promovem sua geração maior ou menor. Portanto, como muito bem nos ensinam as tecnologias de “Prevenção da Poluição” e da “Produção mais Limpa”, a ordem correta para atenuar a geração e os problemas de lodos em nossas fábricas seria a seguinte:

Prevenir – evitando e controlando as causas de desperdícios e perdas;

Reduzir – adensamento dos lodos por melhor desaguamento, compactação ou mesmo secagem;

Reciclar internamente – encontrando usos dentro da própria fábrica, ou como fonte de energia, de fibras, de materiais para revestimento de terrenos erodidos, etc.;

Reciclar externamente – encontrando usos fora da fábricas para os lodos que serão comercializados para terceiros ou “in natura”, ou estabilizados, compostados, etc.;

Aterro industrial – para dispor o que não foi possível prevenir, reduzir ou reciclar. Poderemos reduzir os volumes de aterros adensando o máximo os lodos, como já visto.

Os lodos da fabricação de celulose e papel são fontes importantes de matéria orgânica e de muitos íons minerais (cálcio, magnésio, sódio, fósforo, etc.). Por essa razão, são reconhecidas mundialmente as potencialidades dos lodos desse setor para inúmeros destinos e aplicações tais como: construção civil, uso agrícola e florestal, biomassa combustível, etc.

Os lodos das fábricas de celulose e papel são basicamente constituídos em sua fase sólida de:

- Fibras e fibrilas de material celulósico;
- Cargas minerais da fabricação do papel;
- Terra e areia que existem como contaminantes nas fábricas junto às toras de madeira, lavagens de pisos, etc.;
- Floculantes utilizados no tratamento de águas e efluentes;
- Teores de elementos minerais processuais e iônicos adsorvidos na matéria orgânica dos lodos ou presentes dissolvidos nos próprios efluentes que acompanham os lodos: cloretos, sílica, sódio, cálcio, sulfatos, carbonatos, etc.;
- Organismos biologicamente ativos ou já mortos e presentes como material orgânico residual. Dentre esses microrganismos temos bactérias, fungos, anelídeos, rotíferos, algas, helmintos, etc. Alguns podem eventualmente ter patogenicidade aos seres humanos e animais, quando o efluente sanitário for tratado conjuntamente ao efluente industrial.
- Micro-poluentes orgânicos e minerais: metais pesados, tolueno, ácidos resínicos, organoclorados, dioxinas e furanos, etc.
- Frações oligoméricas de polímeros da madeira: lignina, carboidratos, extrativos, etc.



Lodos sendo manejados para queima

Os lodos são materiais que impactam fortemente os custos empresariais, tanto no que contenham como perdas, como nos seus custos de processamento, tratamento e disposição. Seus volumes e pesos podem ser enormes no setor, já mencionamos isso. A gestão dos lodos, feita de forma adequada, resulta em significativas vantagens econômicas, ambientais e sociais para nossas fábricas. Qualquer empresa que venha a gerar entre 10 a 25 quilogramas de lodo seco por tonelada de produto vendável poderá sentir o forte impacto dessa geração nas operações e no humor fabril.

Temos uma enormidade de problemas associados aos lodos: esses poderão ser maiores ou menores em função das características dos lodos e das próprias empresas:

- Grandes volumes e pesos a manusear, reciclar e dispor;
- Grande potencial de contaminação ambiental, seja pelo próprio lodo, chorume, percolado, lixiviado, escoamento superficial, arraste, etc.;
- Possibilidades de impactos ambientais em termos de mau odor, contaminação de lençóis subterrâneos de água, sujeiras perdidas no manuseio, vazamentos e rompimentos de aterros, etc.
- Grandes áreas de terreno necessárias, tanto para as centrais de reciclagem e armazenamento, como para a própria disposição em aterros;
- Grandes exigências de cuidados no manuseio e disposição, como impermeabilização de terrenos, veículos especializados, uso de equipamentos de proteção individual, etc.;
- Exalação de mau odor em algumas etapas da geração, decomposição e reciclagem, o que pode incomodar as pessoas da empresa e das vizinhanças;
- Dificuldades na vigilância dessas grandes áreas requeridas;
- Possibilidades de algum tipo de doença ocupacional aos trabalhadores, devido eventual presença de patógenos;
- Alta necessidade de cuidados com a saúde ocupacional dos trabalhadores;
- Vida útil em geral pequena dos aterros, por maior que sejam eles construídos;
- Altíssimos custos envolvidos. Estima-se que um metro cúbico ou uma tonelada de lodo possa custar o equivalente a 25 até 100 dólares americanos para sua operação de reciclagem e/ou descarte. Para uma fábrica de celulose de mercado que gere cerca de 15 quilogramas de lodos secos por tonelada de produto vendável, ou algo como 70 kg úmidos/t celulose, isso representará um custo unitário devido a lodos entre 2 a 7 dólares. Isso sem considerar os custos devidos às perdas de matérias-primas valiosas que se converteram nesses lodos (água, fibras de celulose, cargas minerais, etc.). Enfim, um grande desperdício a ser minimizado e otimizado para o bem empresarial, social e ambiental.
- Etc.; etc.



Aterrar lodos representa custos incorridos e sem retorno financeiro algum



Algun caminho seguro na tempestade dos lodos?
Ilustração: Alessandra Foelkel

O aterro de lodos é definitivamente a pior das soluções, mas é uma das mais utilizadas. Além da perda do material que será enterrado para sempre, temos toda uma legislação aplicável que nos dará responsabilidades anos e anos à nossa frente. Existem custos incorridos para: comprar e imobilizar a área; preparar o aterro; dispor o material; fechar e impermeabilizar as valas e bolsões de resíduos; monitorar impactos e tratar esses impactos. Tudo no prazo do “for ever”.



Aterros de resíduos às vezes se rompem e criam enormes problemas para a Sociedade e para o setor de celulose e papel

Amigos, tudo isso representam custos que o empreendedor deverá arcar para sempre. Já as alternativas para minimização da geração de lodos podem representar investimentos de capital, mas em geral possuem rápido “pay back”, ou retornos sobre o capital investido. Isso porque evitam perdas valiosas e reduzem a quantidade de resíduos que representam custos de manejo, reciclagem e disposição final em aterros.

Além dessas preocupações tipicamente associadas à empresa e ao negócio, existem também as preocupações das partes interessadas em relação aos lodos. Essas preocupações ocorrem entre os funcionários e entre as pessoas das comunidades circunvizinhas. Se o tratamento de resíduos for bem executado e assim reconhecido, ganham-se aliados junto às partes interessadas. A compostagem em unidades de reciclagem integra os resíduos aos clientes desses produtos, valoriza os produtos dos resíduos e dá credibilidade à gestão da empresa em relação a seus produtos residuais, entre os quais os lodos. Já se a empresa não dá atenção aos seus lodos, cuidando apenas de jogá-los em aterros (em geral não muito distantes da fábrica) e deixando um rastro de odor, sujeira pelas estradas, chorume e

percolados, etc., a rejeição pelas partes interessadas é imediata. Mesmo entre os empregados dessa empresa, que se preocupam obviamente com sua própria segurança e saúde, a rejeição ocorre. Muitas vezes isso ocorre pela completa desinformação, pois a empresa não se preocupa em explicar sobre os lodos para os diretamente envolvidos com eles. Por isso mesmo, além da necessidade de se ter uma operação exemplar na prevenção, redução de geração, reciclagem e disposição dos lodos, há que se ter uma clara política de comunicação para explicações às partes interessadas sobre:

- Legislação aplicável;
- Índices de performance esperados pelas melhores práticas operacionais nesse setor;
- Qualidade, composição, propriedades dos lodos e de seus produtos derivados;
- Como é feita a transferência da poluição hídrica para os lodos nas estações de tratamento de efluentes e qual o nível de impacto dessas operações? Há entre as pessoas, até mesmo entre os operadores, o sentimento de que os “poluentes perigosos” que não podem ser jogados nos rios através dos efluentes, vão sair concentrados nos lodos, com alto grau de agressividade e periculosidade. Quase nunca as empresas explicam como é feita a atenuação desses poluentes pelas digestões microbiológicas e químicas nas estações de tratamento de efluentes e de compostagem de lodos. Uma lástima essa falta de disposição em argumentar e explicar.
- Quais os conteúdos de moléculas e íons perigosos nos lodos, tais como metais pesados, organoclorados, etc.? Quais as legislações sobre isso e em como os nossos lodos estão performando em relação aos mais severos e restritivos parâmetros internacionais para esses poluentes?
- Quais os impactos dos lodos sobre a saúde ocupacional dos empregados diretamente envolvidos no manuseio e gestão dos lodos, principalmente quanto aos poluentes mais conhecidos e potencialmente perigosos, como os relativos a microbiologia patogênica, doenças e alergias, toxicidades, etc.?
- Quais os cuidados e os níveis de segurança em relação aos produtos gerados nas reciclagens dos lodos (por exemplo: compostos orgânicos eventualmente perigosos para uso na horticultura e pecuária; para aplicação no revestimento de áreas degradadas; para queima em caldeiras de força e olarias, etc.)?



Lodos: transparência e diálogo são partes da vitais na sua gestão

A transparência é vital para que haja sucesso tanto dentro como fora da fábrica nos processos de reciclagem dos lodos dos processos. Entretanto, para ser transparente, há que se ter conhecimentos, capacidade de argumentação técnica, científica e em idioma compreensível pelas partes interessadas. Também, há que se ter a capacidade de olhar o tema sob diferentes pontos de vista (sociais, ambientais e econômicos; e ainda sob óticas distintas, como empresarial, ambientalista, etc.). Hoje em dia, em função da explosão da Sociedade da informação via buscadores na web, qualquer pessoa pode facilmente se informar sobre nossos processos e resíduos. Por essa razão, nada melhor do que nós mesmos nos informarmos sobre todos os eventuais riscos e ansiedades que nossos resíduos possam gerar, de forma a tornar os mesmos cada vez mais seguros para serem recuperados e utilizados pela Sociedade após processos de reciclagem - ou mesmo na segurança dos mesmos para disposição em aterros.

Ao longo desse capítulo, discorreremos muito sobre todos esses tópicos, contando a vocês sobre etapas importantes na gestão dos lodos da fabricação da celulose e papel. Falaremos sobre suas características, seus usos principais, sobre os processos de reciclagem, estabilização, destinação em aterros, bem como sobre higienização, compostagem, etc. Também dedicaremos uma seção toda sobre o uso de alguns lodos como fontes de energia na combustão.

Já para o tópico de aterro de lodos, escreverei sobre isso, mas com alguma relutância, já que minha filosofia é a de minimizar as técnicas de final de tubo. Infelizmente, às vezes, é a única opção que resta. É o caso de alguns lodos muito contaminados com metais pesados ou com microrganismos patogênicos, só restando a destinação em aterros muito bem lacrados para a proteção dos mesmos contra eventuais danos às pessoas e aos ecossistemas. Nesses casos, os legisladores e órgãos de controle ambiental recomendam a separação desses lodos perigosos e sua

destinação pode ser algum aterro para resíduos perigosos, com todos os cuidados apropriados a esses tipos de resíduos.



Encontrando os caminhos adequados na gestão dos lodos de processo



UTILIZAÇÕES E DESTINAÇÕES PARA OS LODOS DA FABRICAÇÃO DA CELULOSE E DO PAPEL

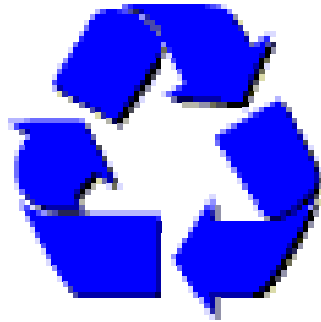


Dentre os usos do lodo, o agrícola e florestal se destacam, mas existem muitos outros mais esperando para serem adotados

Nossa Sociedade atual já se movimenta contra os lixões e áreas de tratamento de lixo industriais. Qualquer cidadão de qualquer Sociedade e em qualquer país tem restrições a ter como vizinha de sua casa e família uma área de disposição de resíduos, ainda mais do tipo industrial. É o sinal dos tempos, onde a conscientização ecológica começa a crescer, mas ainda os caminhos a percorrer não são claros para a grande maioria das pessoas. Uma coisa é certa: a Sociedade passa a exigir tecnologias cada vez mais limpas e aposta nos processos de reciclagem. Logo, não há mais espaços para amadorismo na gestão dos resíduos.

Já falamos inúmeras vezes que devemos começar a focar nossos processos sob a ótica da redução de perdas. São elas que gerarão as poluições hídricas e aéreas, que acabarão na sua última aproximação, em geração de resíduos sólidos exatamente surgidos para o abatimento dessas poluições. Por isso, e mais uma vez repetindo, a melhor solução para o problema dos lodos é encontrar as causas que fazem gerar os mesmos e agir sobre elas (e sobre os outros resíduos sólidos, também). Entretanto, nada é perfeito. Por mais que nos esforcemos, sempre teremos alguma geração de lodos, eles são integrantes obrigatórios nos processos de tratar a poluição. Não há ainda, infelizmente em nosso setor, como evitar perdas de filtrados de branqueamento, condensados de evaporação, etc. Eles são ricos em matéria orgânica e ao serem tratados como efluentes, gerarão lodos. Também, sempre ocorrerá algum escape de fibrilas, fibras fragmentadas e compostos oligômeros da química da madeira, cargas minerais, terra, areia, etc. Dessa forma, a reciclagem segura é uma prática ambientalmente correta e necessária.

Produtos para reciclagem exigem segurança de uso, atendimento a especificações, homogeneidade das matérias-primas e mínima periculosidade. Logo, para reciclar lodos temos que adotar medidas de disciplina na geração, nas suas qualidades e quantidades, etc. Também exige um enorme compromisso de se encarar a reciclagem como um processo produtivo orientado a produtos especificados e de qualidade aos consumidores. A reciclagem de lodos não pode de forma alguma ser vista como uma operação para dar “um sumiço nos lodos”, até mesmo em uma central de compostagem distante de nossa empresa. Quando formos converter nossos lodos em biocombustíveis ou adubos orgânicos, teremos especificações de qualidade a cumprir, caso contrário, nossos produtos não terão sucesso comercial. Ficou claro e muito bem entendido esse ponto vital? A gestão dos resíduos terá que se apoiar em ciência e em operações tecnológicas padronizadas, da mesma forma que a produção de celulose e de papel. Teremos que controlar as operações de produção dos lodos, especificar e segregar materiais de acordo com as exigências do processo de reciclagem e dos produtos finais a comercializar. E muitas coisas mais...



Quando fazemos uma análise dos possíveis mercados para produtos gerados a partir dos lodos da fabricação da celulose e do papel, notamos que eles podem ser divididos nos seguintes grupos:

- Energia e incineração;
- Uso agro-florestal;
- Fábricas de papelão e papel reciclado;
- Construção civil;
- Biorefinarias;
- Produtos compósitos, moldados ou enchimentos;
- Outras destinações...



Lodo em processo de estabilização e compostagem

Os dois maiores mercados e mais fáceis de serem atendidos são: utilização “on site” na fábrica para energia e uso dos resíduos nas florestas como fertilizante orgânico, compostado ou não. Já para os demais mercados, há que se desenvolver tecnologias, parcerias, especificações, embalagens, etc., etc.

Em todos os casos, os caminhos são simples e passam pelas seguintes fases:

- Desenvolvimento da viabilidade técnica;
- Idem para a viabilidade econômica, comparativamente aos custos incorridos para destinação final e de outros materiais alternativos para mesmas finalidades;
- Definição de investimentos requeridos;
- Custos operacionais padrão;
- Cálculos de taxas de retorno e de “pay back (tempo necessário para recuperar os gastos no investimento);
- Desbloqueio de entraves de legislação ambiental, burocráticos de registro de produtos, etc. Por exemplo, um composto orgânico fertilizante produzido de lodos vai requerer registro no MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento no caso brasileiro, bem como liberação do órgão de controle ambiental através de um estudo de impacto ambiental.
- Utilização de incentivos governamentais de financiamento;
- Adequações às exigências de mercado e comparações com produtos alternativos já existentes no mercado que se quer atuar;
- Transparência e diálogo, esclarecimentos às partes interessadas (compradores de lodos como matéria-prima ou usuários de produtos finais a partir dos lodos, etc.)
- Etc.

Atualmente, os lodos da fabricação da celulose e papel encontram inúmeras utilizações potenciais, muitas já sobejamente comprovadas e em plena prática industrial. Diversas operações industriais possuem nos lodos de

nosso setor algum tipo de matéria-prima complementar a seus processos de fabricação e conversão.

Apenas uma recomendação importante: se existir uma demanda muito grande para seus lodos, até mesmo por eles “in natura”, com toda certeza vocês estão perdendo muita coisa valiosa em seus processos, descartando nos lodos materiais muito bons, como fibras, energia e cargas minerais. Exemplo: se os fabricantes de paper reciclado estiverem literalmente “correndo atrás” de seu lodo primário, a razão é muito simples: vocês estão ingenuamente jogando muita fibra celulósica fora em seus processos e elas poderiam muito bem serem recuperadas em seus próprios processos e não sendo vendidas a terceiros a preços irrisórios como resíduos. Mesmo que existam compradores ávidos pelos lodos fibrosos, as fibras celulósicas perdidas valem uma enormidade mais retornando aos seus próprios processos do que serem vendidas como lodo primário úmido e de aspecto muito diferente do que uma polpa de mercado. Ficou claro isso?



Lodo sendo coprocessado em central de tratamento de resíduos sólidos

Vamos então listar os principais mercados e dar uma breve explicação sobre cada um deles:

Mercado de biomassas combustíveis

- Como combustível direto para queima: apesar do alto teor de umidade e de cinzas minerais, existirá energia líquida positiva em lodos com consistência acima de 40% e teor de cinzas menor que 30%. Esse valor está na ordem de 4 a 10 GJ/tonelada de lodo como tal, dependendo do tipo de lodo, como veremos em outra seção. Entretanto, para lodos com

consistências baixas, por volta de 20% e teor de cinzas a 30% ou mais, a geração de energia líquida é desprezível, entre 0,5 a 1,5 GJ/tonelada na umidade em que se encontra o lodo. Há situações em que a energia líquida chega a ser negativa, trazendo problemas de instabilidade de queima e demanda de combustíveis auxiliares para manutenção da chama nas fornalhas das caldeiras.

- Como participante ou coadjuvante na composição de péletes e/ou briquetes combustíveis, conjuntamente com serragem residual de madeira de serrarias e industrialização de móveis, cavacos de madeira de demolição, restos de podas de árvores urbanas, etc.
- Etc.

Mercados na agricultura e silvicultura

- Pela aplicação direta no solo florestal ou agrícola de lodo cru na forma líquida, granulada, pastosa, pelletizada, semi-seca ou seca. Essa operação é conhecida como “landspreading” e pode ser feita no sulco, na terra arada, sobre o solo sem preparo algum, etc. Muitas vezes o “landspreading” é feito colocando uma mistura de lodo e cinzas de caldeira de biomassa por dois motivos: facilitar a aplicação de um material mais seco e introdução de sais minerais nutrientes disponíveis nessas cinzas, ricas em cálcio, potássio, magnésio, etc.
- Incorporação de compostos orgânicos ou organominerais derivados dos lodos, materiais mais estabilizados e de melhor qualidade agrícola;
- Uso de lodo da fabricação do papel, rico em carbonato de cálcio, como fonte de cálcio e como corretivo da acidez do solo;
- Uso de lodo orgânico como substrato para o crescimento de fungos lignolíticos comestíveis como *Pleurotus ostreatus*, *Agrocibe aegerita*, *Lentinus edodes*, etc.
- “Mulching” para jardinagem;
- Cama de aviário e de outros animais estabulados;
- Etc.

Mercados papeleiros e de produção de artefatos de polpa moldada

- Utilização de lodos primários ou de rejeitos de depurações de polpa, em geral ricos em fibras e cargas minerais, para fabricação de papéis de menores especificações de alvura, limpeza, etc. (Exemplo: papéis cartão, papéis de embalagens, papéis miolo de cor parda, papeis sanitários de segunda qualidade, etc.)
- Uso de lodos fibrosos em produtos moldados.

Mercados da construção e obras de engenharia civil

- Uso do lodo do papel, do papel reciclado e das ETA's para fabricação de blocos de cimento, tijolos, materiais cerâmicos (cerâmicas vermelhas, tipo grés, etc.);
- Uso de lodo primário da fabricação de celulose e de papel de fibras longas como coadjuvante fibroso na fabricação de compósitos de cimento tais como telhas, caixas-d'água, etc.;
- Uso de lodo do papel rico em minerais para estabilização de terrenos, pavimentação de caminhos de terra (estradas rurais, etc.), material para capeamento de aterros e áreas degradadas, etc.;
- Uso do lodo de destintamento, rico em fibrilas coloidais para revestimento de áreas onde se queira agregar um certo nível de impermeabilização. Por se tratar de material muito fino, esse lodo forma uma camada de baixa capilaridade nessas superfícies.
- Uso de lodos para recuperação de áreas mineradas ou da escavação para remoção de terra ou saibro. Em caso de mineração onde existem percolados ácidos, recomenda-se o uso de lodo da fabricação do papel com teores altos de carbonato de cálcio.
- Etc.

Novos mercados em formação: o caso das biorefinarias e a geração de biogás

- A digestão anaeróbia de lodos orgânicos em biodigestores especiais conduz à geração e recolhimento de metano, um biogás combustível alternativo aos combustíveis fósseis e de rico poder calorífico ($\text{CH}_4 = 75\%$ de carbono orgânico).
- A hidrólise enzimática de lodos contendo fibras e moléculas de lignina e carboidratos celulósicos pode resultar na produção industrial de etanol, biocombustível não fóssil com altíssima demanda pela Sociedade moderna. O processo de produção da celulose e do papel fragilizam as moléculas de celulose, hemiceluloses e lignina, tornando os fragmentos moleculares mais susceptíveis à sacarificação, fermentação e produção de etanol via enzimática. Esse será, sem dúvidas, um mercado muito interessante para lodos orgânicos, com baixos teores de cinzas. Entretanto, demandará com certeza, especificações mais severas a serem cumpridas pelos lodos para servirem de matérias-primas nesses processos industriais.

Mercados de compósitos e de produtos de enchimento ("Filler")

- Uso de lodos para compósitos com plásticos, organominerais, fibrocimento, etc.
- Uso em materiais de isolamento acústico, térmico, etc.



Lodo coprocessado e pronto para destinação a clientela agrícola



CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA DE LODOS: O QUE ANALISAR ?



A correta e abrangente avaliação das características e propriedades dos lodos é fundamental por diversas razões:

- Classificação dos lodos para perfeito enquadramento nas classes de resíduos sólidos das normas e nas legislações pertinentes de controle ambiental;
- Identificação das propriedades mais relevantes dos lodos que ofereçam informações ou garantias para seu uso em processos de reciclagem ou reuso, quer seja em outras cadeias produtivas, ou dentro da própria empresa;
- Identificação de características ambientais e de toxicidade relevantes, capazes de infligir impactos nos ecossistemas, à saúde das pessoas e nos seus usos potenciais;
- Etc.

Levando isso em consideração, são inúmeros os tipos de avaliações analíticas a que os lodos são submetidos. Essas avaliações vão desde os simples testes de pH e de consistência/teor de umidade, passa por análises um pouco mais complicadas como teor de cinzas, e chega a características de muito difícil medição, como teores de dioxinas e furanos, e de outros poluentes orgânicos persistentes ou de poluentes prioritários, conforme sugeridos pela EPA – U. S. Environmental Protection Agency.

Para cada tipo de lodo, e em função de seu destino ou uso, são selecionadas avaliações típicas. Essas avaliações ou são exigidas pelos órgãos de controle, pelas partes interessadas da Sociedade, ou demandadas pela própria empresa geradora dos lodos em função de sua responsabilidade ambiental e social corporativa.

No caso das análises de compostos poluentes que possam trazer danos à saúde de pessoas e de ecossistemas, é preciso muita cautela com os procedimentos analíticos, perfeito conhecimento dos limites de detecção e comparações adequadas com os padrões legislados impostos por países que possuem tradição e conhecimentos sobre o tema.

Pelo fato dos lodos serem resíduos variados e obtidos de diferentes “substratos”, a variação entre suas características pode ser grande entre lodos diferentes e até mesmo em um único tipo de lodo de uma mesma empresa. É o caso de biossólidos, por exemplo. Já entre lodos distintos, pode-se entender com facilidade que lodos de tratamento de águas diferem de lodos de fabricação do papel em fábricas integradas, e esses diferem daqueles de fábricas de papel reciclado, da fabricação de celulose de mercado, etc., etc. Tudo isso leva a propriedades bastante variadas entre lodos e no mesmo tipo de lodo. Por essas razões, a gestão de lodos implicará sempre em adequadas verificações analíticas e monitoramento qualitativo e quantitativo ao longo do tempo.

Independentemente se uma avaliação indica que o lodo é de excelente sanidade, uma única avaliação não é sinônimo de perpetuidade dessa qualidade para esse lodo. Sempre devemos ter cautela e aplicar um monitoramento contínuo das características fundamentais requeridas, especialmente aquelas que representem potencialidades de impacto ambiental e à segurança das pessoas, fauna e flora. Da mesma forma, precisamos ter responsabilidades nas avaliações associadas aos usos dos lodos como fertilizantes organominerais, corretivos de acidez do solo, usos na construção civil, pavimentação de estradas, etc., etc.

Os seguintes tipos de avaliações analíticas são comuns e algumas essenciais para entender sobre os lodos em sua definição como resíduos não perigosos, bem como para estabelecer seus usos na reciclagem interna e/ou externa à empresa geradora:

- Teor de umidade;
- Consistência ou teor de matéria seca;
- Teor de matéria orgânica;
- Teores de carbono total e orgânico;
- Densidade aparente (em toneladas úmidas ou toneladas secas por metro cúbico, por exemplo);
- Íons minerais e radicais salinos: zinco, manganês, cobre, alumínio, chumbo, níquel, cádmio, cromo, arsênio, antimônio, bário, mercúrio,

berílio, selênio, tálio, vanádio, cianeto, carbonato, nitrato, amônio, sulfato, etc.

- Nutrientes para plantas (macro e micro): cálcio, potássio, fósforo, nitrogênio, enxofre, boro, molibdênio, zinco, manganês, cobre, cobalto, etc.
- Poluentes orgânicos persistentes: AOX (compostos halogenados adsorvíveis em carvão ativo); EOX (compostos halogenados extraíveis); PCDD (Dibenzo Dioxinas Poli Cloradas); PCDF (Dibenzo Furanos Poli Clorados); PCB (Bifenilas Poli Cloradas); Cloroguaiacóis, Clorocatecóis, Vanilinas, Seringóis, Fenóis Poli Clorados, Ftalatos, etc.
- Poluentes Prioritários da USEPA: alguns exigidos pelos legisladores e selecionados do grupo de cerca de 130 poluentes gerais que apresentam potencial reconhecido de mutagenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade, ou que ofereçam riscos de impacto maior para a fauna, flora e seres humanos;
 - Poluentes prioritários orgânicos e voláteis: benzeno, benzeno clorado, clorofórmio, diclorometano, tolueno, cloreto de vinila, clorometano, cloro fenol, etc.;
 - Poluentes prioritários orgânicos e semi-voláteis: antraceno, ftaleno, hidrazina, naftaleno, pireno, fenantreno, etc.
- Avaliações para biorefinarias: teores de monômeros de carboidratos (glucose, xilose, arabinose, galactose); teor de lignina, capacidade fermentativa, etc.;
- Avaliações para uso agrícola: teores de macro e micro-nutrientes; relação Carbono Orgânico/Nitrogênio; poder neutralizante da acidez do solo, teor de ácidos húmicos e/ou fúlvicos, teor de huminas, etc.;
- Avaliações para uso combustível: teor de carbono orgânico, teor de cinzas, teor de umidade, poder calorífico base seca e base tal qual, teor de carbonatos, teor de sulfetos, teor de nitrogênio, teor de cloretos, teor de sílica, teor de metais pesados capazes de serem expelidos pelas cinzas volantes, etc.
- Avaliações de potencial patológico e de periculosidade microbiológica: presença e populações de coliformes totais e fecais, *Salmonella*, *Escherichia coli*, etc.
- Avaliações de ecotoxicidade: a serem descritas em seção subsequente;

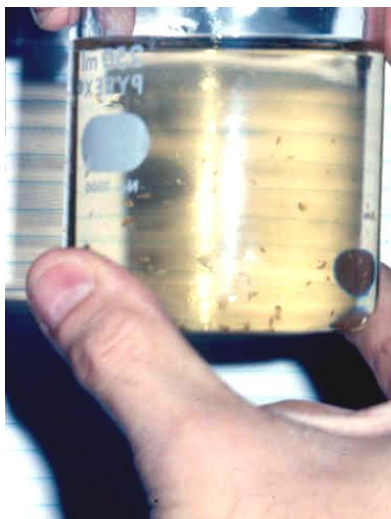
- Outras avaliações: causticidade, corrosividade, presença e teor de nonil-fenol etoxilado (tensoativo causador de espuma);
- Etc.

Enfim amigos, existe uma grande diversidade de análises, que na maioria das vezes, não são totalmente exigidas ou mesmo requeridas pelo fato de tradicionalmente muitos desses compostos não estarem presentes nos processos industriais de produção de celulose e papel.

Em casos de biossólidos existem restrições maiores para patogenicidade; para lodos de destintamento, restrições sobre íons metálicos tóxicos; para lodos de fábricas de celulose branqueada exigências sobre AOX, EOX e PCDD e PCDF, etc., etc.

Uma coisa também é muito certa: não podemos nos desesperar ou entrar em pânico se algum composto ou elemento perigoso for detectado em um tipo qualquer de nossos lodos. O importante é verificar em primeiro lugar as concentrações legisladas no Brasil e nos países mais restritivos em relação ao meio ambiente industrial para fábricas de celulose e papel (Canadá, Alemanha, Estados Unidos da América, Dinamarca, Holanda, Suécia, Finlândia, etc.). Ao mesmo tempo, tentar entender as razões dessa presença e em como otimizar o processo, as matérias-primas utilizadas, etc. Lembro-me muito bem, em meu passado profissional mais ou menos distante, que descobrimos a presença de uma contaminação de mercúrio no lodo terciário do tratamento de efluentes da fabricação da celulose branqueada. A razão estava no sulfato de alumínio ferroso usado como clarifloculante. Bastou se negociar com o fabricante do mesmo para que o ácido sulfúrico que ele utilizava (que era fonte do mercúrio) fosse trocado e o problema foi resolvido.

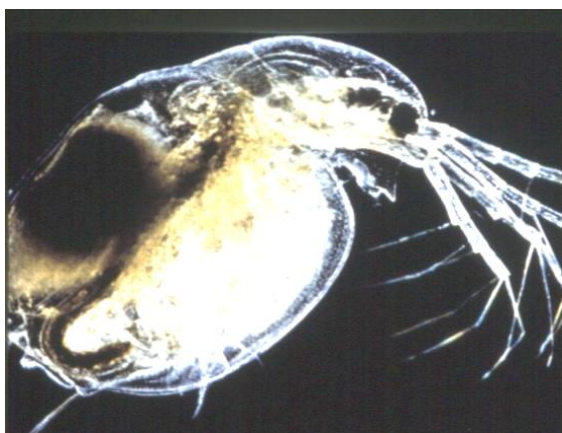
Afortunadamente existem avaliações periódicas de monitoramento; se elas não fossem realizadas, talvez o problema do mercúrio do exemplo acima demorasse a ser descoberto. Como consequência direta, o teor de mercúrio em matérias-primas passou a ser um item a avaliar nas compras de insumos químicos: é a melhoria contínua em sua expressão diária, o que acontece em tantos casos de nossa rotina industrial. É mais um exemplo da contínua melhoria do setor em busca da sustentabilidade, sempre demandando atenção, curiosidade, avaliações, estudos e criatividade.



Microrganismos (*Daphnia*) vivendo em percolado de lodo de celulose, demonstrando sua baixa toxicidade a esses microrganismos



TOXICIDADE, ECOTOXICIDADE E PERICULOSIDADE DE LODOS



Bioensaios de lodos – uma forma de avaliar a segurança no uso

Sempre existirá a suspeita, por parte das pessoas que trabalham ou que utilizam os lodos, de que possa existir algum perigo pelo contato, ingestão, presença ou mesmo odor dos lodos ou de seus produtos. Por essa razão, temos que nos municiar de dados e de artigos técnicos de qualidade para poder atender a duas razões básicas:

1. Para que acreditemos nós mesmos que a atividade é segura e não oferece riscos;
2. Para ter a capacidade de convencer os interlocutores através de argumentações de credibilidade técnica e científica.

Caso nós próprios tenhamos dúvidas, a única maneira de se tirá-las é através da avaliação e pesquisa. Só devemos recomendar qualquer tipo de reciclagem externa quando tivermos absoluta certeza de que se trata de algo seguro e que nós mesmos poderemos consumir dos produtos resultantes, ou estarmos próximos de onde o lodo está sendo processado, sem perigo algum.

Lembrar ainda, que por se tratar de atividades que envolvem produtos químicos, alguns ainda ativos, de que o uso de equipamentos de proteção é uma exigência não apenas legal, mas muito necessária. Também se fazem necessários adequados sistemas de monitoramento de poluentes hídricos e aéreos nos locais de estocagem e reciclagem dos lodos, coisa absolutamente normal e básica em processos de conversão industrial. Apenas um alerta: a partir do momento que tivermos nossa central de reciclagem autorizada e em operação, ela é parte integrante de nossas atividades industriais. Ela deve ser encarada como mais uma unidade fabril em operação, demandando cuidados, procedimentos e até mesmo normalização conforme o preconizado pela garantia de qualidade das normas ISO 9001 e 14001.

Em caso de detecção de alguma anormalidade que possa causar risco às pessoas, como a eventual presença de coliformes fecais, por exemplo, medidas imediatas devem ser tomadas para higienização ou pasteurização dos lodos. Com isso, o problema deverá ser eliminado.

A pasteurização é realizada mantendo-se o lodo ainda ativo e úmido em um tanque, lagoa ou digestor, para que a ação biológica de digestão aeróbia se prolongue e passe a haver canibalismo entre os microrganismos. Os microrganismos degradadores de substâncias complexas como lignina, carboidratos, extrativos e compostos organoclorados, têm facilidade em se alimentar de bactérias patogênicas simples, como as salmonellas, coliformes, etc. A pasteurização pode ser acelerada com o ligeiro aquecimento do lodo.

A higienização dos lodos se faz com a finalidade de eliminar agentes patogênicos e de agentes transmissores de problemas sanitários. A biologia dos lodos demonstra que eles são capazes de suportar e promover o crescimento de vida microbiológica e até mesmo de animais de maior porte (helmintos, anelídeos, rotíferos, larvas de insetos, etc.). Alguns desses organismos podem se tornar perigosos na medida em que o lodo for utilizado, pois podem ser causadores ou vetores de doenças. Exemplos comuns são: amebas, helmintos, fungos, vírus, bactérias patogênicas, etc.

Os lodos também podem ser atrativos a agentes vetores ou transmissores como insetos, roedores, pássaros e até mesmo as pessoas. Esses animais podem ajudar a disseminar algum tipo de organismo patogênico presente nos lodos.

A melhor e mais fácil maneira de higienizar um lodo é pela compostagem. Essa técnica promove a estabilização dos lodos, reduzindo ou mesmo eliminando os organismos patogênicos potencialmente perigosos à saúde e à ecotoxicidade. Isso porque em sua fase inicial há uma elevação substancial da temperatura do lodo, que pode atingir valores acima de 55°C. Essa mais alta temperatura só permite a vida de organismos termófilos e os agentes patogênicos não resistem a ela.

Além da compostagem, pode-se reduzir a patogenicidade dos lodos pela elevação do pH a valores altos, acima de 10, com adição de cal, dregs/grits, etc. A calagem ou caleação de lodos é uma prática consagrada na gestão de resíduos sólidos, podendo também ser realizada pela adição de cal queimada e/ou lama de cal residuais dos processos industriais de fabricação de celulose kraft.

Caso a empresa precise higienizar os lodos e não disponha dessas facilidades até agora mencionadas, uma outra alternativa seria aquecer os lodos a temperaturas ligeiramente acima de 60°C. Isso deve ser feito nos lodos após desaguamento, para gastos térmicos menores

De todas as formas, a precaução em relação à presença de substâncias tóxicas e de organismos patogênicos deve ser uma postura pró-ativa das organizações e empresas envolvidas no manejo e gestão desses resíduos. Os possíveis contaminantes dos lodos exige do setor ações de monitoramento físico-químico e ecotoxicológico. Isso é cada vez mais demandado, já que os lodos estão fazendo parte de processos de reciclagem externamente às empresas geradoras desses materiais. Como a responsabilidade é sempre compartilhada entre o gerador e o consumidor do lodo como matérias-primas, as empresas do setor precisam ser muito eficazes e eficientes nessas avaliações e monitoramento. Já comentei, mas quero repetir de novo: todo trabalho com lodos deve obedecer princípios científicos e ser executado com tecnologias que representem segurança nas operações e no consumo de seus produtos pelos clientes.

Todas as indicações para os lodos setoriais, exceto o lodo do destintamento do papel, é de que os problemas com metais pesados não devem ser importantes, pois os níveis de presença dos mesmos e suas concentrações são abaixo das exigências legais. Por outro lado, a presença de alguns poluentes orgânicos persistentes nos lodos crus acenam que a compostagem e a estabilização são necessárias para uma degradação complementar e redução dessas concentrações a valores abaixo dos recomendados pelas mais restritivas legislações ambientais internacionais.

Paralelamente às análises físico-químicas, os bioensaios são eficazes maneiras para se conhecer melhor os efeitos dos lodos sobre os seres vivos e sobre os ecossistemas naturais. Os métodos analíticos medindo concentrações indicam valores numéricos, importantes para comparar com os padrões legislados e recomendados. Entretanto, eles não mostram interações ou efeitos cumulativos para os diversos compostos e substâncias analisadas. Todos os compostos e elementos analisados podem estar em concentrações seguras e conformes com a lei, mas o conjunto pode mostrar algum nível de agressividade a organismos vivos ou ao próprio ser humano, por efeitos interativos entre esses compostos. Isso porque podem existir efeitos de antagonismo, sinergia, neutralização, potencialização, etc. Portanto, apenas o conhecimento da constituição química dos resíduos não permite saber seu real efeito sobre os ecossistemas naturais. Dessa forma, para um melhor entendimento dos lodos sobre os seres vivos, recomendam-se bioensaios com organismos vivos.

Como não sabemos como o resíduo quimicamente complexo reagirá e afetará o meio ambiente, estudos biológicos complementares são necessários e fundamentais. Esses testes biológicos devem incluir grupos distintos e variados de organismos, tais como: bactérias, micro-crustáceos, anelídeos, peixes, células vegetais em divisão, etc.

Os ensaios biológicos devem ser realizados com diferentes concentrações do resíduo ou de seu extrato aquoso (ou percolado). Existem formas padronizadas para obtenção do extrato aquoso, usando técnicas de vácuo, ultra-som, aquecimento, etc.

Recomendam-se bioensaios tanto para os lodos crus (logo após terem sido produzidos nas fábricas), como para os lodos estabilizados, pasteurizados, higienizados e/ou compostados.

Os principais bioensaios realizados com lodos são os seguintes:

- Bioensaios de Ecotoxicidade Aguda

Avaliam as concentrações do poluente ou de seu extrato que causam rapidamente a morte ou a imobilidade de pelo menos 50% dos organismos testes. (LC 50 – concentração letal para afetar pelo menos 50% dos organismos). Os organismos testes podem ser: *Daphnia similis*, *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia*, *Spirillum volutans*, *Photobacterium phosphoreum*, *Vibrio fischeri*, etc.

- Bioensaios de Ecotoxicidade Crônica

Avaliam o efeito do poluente e de suas concentrações no mais longo prazo, procurando entender seus efeitos em processos metabólicos importantes do organismo-teste, como maturidade sexual, reprodução, divisão celular,

sobrevivência da progênie, etc. Diversos organismos testes são utilizados, mas os mais comuns são os do gêneros *Daphnia* e *Ceriodaphnia*.

- Bioensaios de Crescimento Populacional de Minhocas

A minhocultura com lodos não deixa de ser um teste de ecotoxicidade usando organismos maiores. Entretanto, as condições dos testes com minhocas devem ser padronizadas e os ensaios acompanhados por especialistas. As espécies mais utilizadas são: *Eisenia foetida*; *Lumbricus rubellus* e *Eudrilus eugeniae*. Os testes consistem em promover o crescimento das minhocas em substratos contendo lodo, iniciando-se o ensaio com um certo número de casais desses anelídeos. A espaços de tempo definidos, contam-se e pesam-se as minhocas. Paralelamente, realiza-se um ensaio testemunha com um substrato preferido pelas minhocas, por exemplo, mistura de esterco de cavalo com restos de frutas cruas e terra. Complementarmente, podem ser avaliados danos físicos na pele e mucosas das minhocas e avaliação de seus órgãos internos por dissecação. São testes fáceis de serem realizados e com enorme comunicação visual para as partes interessadas e ao público leigo. Como as minhocas são eficazes na humificação de resíduos orgânicos, elas são excelentes bioindicadoras de lodos, pois a textura dos lodos favorece sua alimentação, crescimento e movimentação nos mesmos.

- Bioensaios de Crescimento Populacional (Reprodução) e Aumento de Peso em Peixes

As espécies de peixes mais usualmente testadas são: *Pimephales promelas* ("fathead minnow") e *Oreochromis niloticus* (tilápia nilótica). Para a alimentação dos organismos-testes podem ser usadas rações contendo variadas proporções do lodo em avaliação, ou então minhocas que cresceram em substrato com o mesmo lodo.

- Bioensaios de Divisão Celular em Plantas

O ensaio mais fácil de ser realizado é o baseado no crescimento de raízes de cebola (*Allium cepa*), plantadas em substratos contendo dosagens crescentes desse lodo (cru ou compostado). As pontas das raízes em pleno crescimento são avaliadas primeiro em seu aspecto físico e depois são analisadas ao microscópio para identificar as células em divisão mitótica. Comparam-se valores de: frequência mitótica (percentual de células em divisão); coloração e estado físico das raízes e de seus ponteiros; frequência de aberrações mitóticas (cromossomas quebrados e/ou anormais, dificuldades de

pareamento de cromossomas, divisão incompleta, falta de fusos mitóticos, etc.).

- Bioensaios de Mutagenicidade (Teste de Ames)

Avalia colônias mutantes de linhagens da bactéria *Salmonella typhimurium*, quando submetidas ao agente a ser testado como potencial causador de mutagenicidade (em diferentes concentrações). Há que ter o cuidado de usar dosagens que não causem toxicidade aguda ou mesmo crônica, e que possam afetar as leituras de mutagenicidade. O objetivo é avaliar qual o efeito que o lodo possa ter induzindo alterações sobre o material genético (mutações do DNA) do organismo-teste.

- Testes de Microrganismos Patogênicos

Normalmente, os testes mais usuais são os de detecção de frequência de microrganismos fecais, já que em geral, eles estão associados à presença de outros agentes patogênicos. Os microrganismos mais usualmente presentes em lodos, especialmente biossólidos, são: *Escherichia*, *Salmonella*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Shizella*, etc.

Praticamente, para todos os bioensaios realizados com lodos da fabricação da celulose e papel, à exceção dos testes de minhocultura (as minhocas preferem material orgânico cru), os lodos crus têm mostrado maiores níveis de ecotoxicidade do que os lodos estabilizados e/ou compostados. Os lodos crus são mais concentrados em poluentes e ainda estão em processo de ativa vida biológica. Podem então ocorrer tanto o efeito dos poluentes, como uma competição entre os microrganismos do lodo e os organismos-testes, o que pode ocorrer no caso do lodo ou de seu extrato aquoso.

Já as minhocas, elas são seres que preferem se alimentar de material orgânico cru e não compostado. Apesar de uma necessidade de adaptação inicial ao lodo cru, as minhocas têm mostrado excelentes crescimentos em lodos orgânicos crus gerados pelo setor de celulose e papel. Esse crescimento tem sido relatado como similar ao de outros substratos como esterco, frutas em decomposição, etc. Recomenda-se apenas que se crie alguma porosidade no lodo, pela adição de serragem ou de cinza de caldeira de biomassa. Essa última tem mostrado excelentes resultados, pois fornece alguns nutrientes exigidos pelas minhocas (cálcio, magnésio, fósforo, potássio, etc.). As minhocas são muito eficientes na redução da relação C/N do substrato que decompõem (processo de humificação dos lodos), fazendo isso de forma mais rápida do que a compostagem tradicional.

Lodos crus aplicados sobre a superfície do solo e depois incorporados no mesmo precisam de um certo tempo para que os microrganismos do solo colonizem e estabilizem os mesmos. Por essa razão, recomenda-se que o "landspreading" de lodos seja realizado com acompanhamento de bioensaios apropriados às condições onde essa prática esteja sendo executada.

É mais do que evidente que com esses testes de ecotoxicidade (e outros mais existentes) poderemos eventualmente encontrar algum tipo de efeito positivo dos lodos em alguma das concentrações testadas. Por isso mesmo, temos que ter perfeito conhecimento dos fatores operacionais e tecnológicos do momento da amostragem para a mais correta interpretação dos resultados. Não basta apenas se colher uma amostra e enviar para análise - é preciso rastrear muito bem a sua origem e o que acontecia na fábrica na geração desse lodo. O mesmo em relação a lodos compostados, estabilizados, etc.

Muitas vezes, a toxicologia é afetada por residuais elevados dos produtos químicos utilizados no tratamento de efluentes, como dos floculantes empregados no tratamento terciário químico. Também pode ser devida a residuais de compostos presentes nos efluentes, já que os lodos possuem importante parte de seu peso sendo representada pelo efluente residual que o acompanha quando extraído. Dentre esses residuais de filtrados e que são problemáticos aos organismos-testes estão: cloretos e peróxido de hidrogênio. Por isso, as avaliações ecotoxicológicas precisam ser complementadas por análises físico-químicas.

Sempre existem expectativas das partes interessadas ambientalistas sobre os potenciais efeitos de organoclorados potencialmente presentes em lodos, em concentrações e tipos variados. No passado de umas duas décadas atrás, quando se usavam seqüências de branqueamento contendo cloro elementar, as concentrações de organoclorados em lodos eram bem mais altas que as existentes hoje, com seqüências de branqueamento ECF ("Elementar Chlorine Free"). Com isso, baixaram as suspeitas sobre os lodos atuais, o que vem sendo comprovado pelos resultados bastante baixos em concentrações de AOX, EOX e PCDD/PCDF.

As modernas seqüências de branqueamento usam muito menos compostos clorados (praticamente somente o dióxido de cloro em menores cargas específicas), complementadas por compostos oxidantes de oxigênio (peróxido de hidrogênio e oxigênio molecular). Essas seqüências conduzem a baixas gerações de organoclorados, perfeitamente enquadrados nas mais restritivas legislações internacionais para esses poluentes orgânicos. As fábricas de celulose de mercado, estado-da-arte tecnológico, e que operam hoje no Brasil, conseguem produzir lodos e efluentes com valores muito abaixo daqueles preconizados pelas legislações internacionais.

As concentrações de equivalentes tóxicos totais (TTEQ) de todos os isômeros das PCDD+PCDF para os lodos crus de fábricas de celulose de mercado e/ou papel integradas estão entre 0,02 a 15 ng/kg de lodo seco (partes por trilhão). Para os constituintes referidos como os mais tóxicos nessa família de organoclorados, os valores mais usualmente encontrados em lodos crus e/ou compostados nas fábricas de melhores práticas industriais estão na ordem de:

2,3,7,8 TCDD – de não detectado a 0,3 ppt (ng/kg seco)

2,3,7,8 TCDF (fator de equivalência igual a 0,1) – de não detectado a 10 ppt

Para o cálculo das concentrações em TTEQ calcula-se cada isômero em sua concentração multiplicada pelo fator de equivalência à 2,3,7,8 TCDD (Tetra Cloro Dibenzo Dioxina). No caso de isômeros não detectados, pode-se considerar o valor da concentração do mesmo como zero ou como metade do limite de detecção para esse isômero em questão (mais recomendado).

Apenas para um pouco de recordação sobre essas concentrações tão baixas em unidades difíceis de serem lembradas:

1 nanograma/kg seco = 1 picograma/grama seca = ppt (parte por trilhão)

1 picograma/kg seco = 1 nanograma/tonelada seca = ppq (parte por quadrilhão)

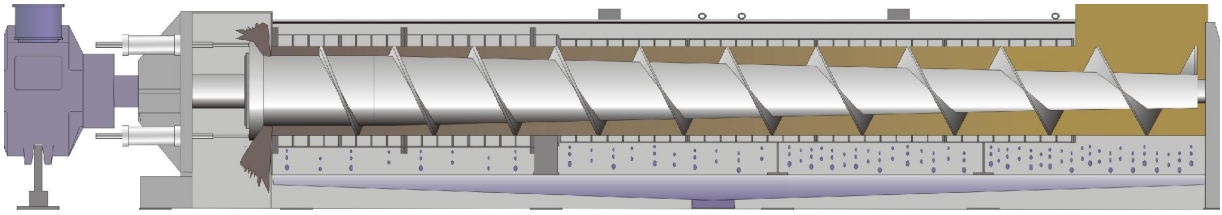
As variações dessas concentrações entre lodos e fábricas se devem às tecnologias, seqüências, cargas de cloro ativo aplicada, valores de número kappa que se trabalham nas polpas ao branqueamento, tipo de tratamento de efluentes, tipo de lodo, etc. Nas fábricas mais modernas e estado-da-arte, com ótimas práticas ambientais, as concentrações mais usuais de PCDD+PCDF em lodos crus variam entre 100 a 2.000 ng de TTEQ/tonelada de lodo seco; o que corresponde a 0,1 a 2 ng/kg seco (ppt).

Por outro lado, as avaliações de AOX para lodos crus mostram valores entre 30 a 100 ppm, praticamente nos mesmos níveis dos encontrados nas polpas branqueadas. São considerados níveis adequados e compatíveis aos legislados internacionalmente.

Os valores de PCDD e PCDF de lodos de fábricas modernas de celulose kraft branqueadas estão em geral abaixo dos valores encontrados em biossólidos de tratamento de esgotos domésticos. Enfim, o famigerado problema das dioxinas e furanos em lodos e efluentes da fabricação de celulose branqueada e papel branco parece estar bem resolvido por esse tipo de industrialização. Entretanto, nem por isso deve-se deixar de monitorar, pois em condições de excesso de dosagens de cloro ativo no branqueamento, ou operações inadequadas no processo, os valores podem eventualmente subir a níveis maiores.

=====

DESAGUAMENTO E SECAGEM DE LODOS



Como já visto, mas vale a pena repetir, um dos grandes desafios tecnológicos e operacionais na gestão de lodos é se manter baixo e estável o teor de umidade dos mesmos. Sua variação é indesejável em função das utilizações que se vêm dando aos lodos como matérias-primas de outros processos industriais. Isso é particularmente válido para os processos de combustão de lodos para geração de energia. O teor exagerado de umidade também torna o lodo mais custoso e inapropriado em operações tais como manuseio, reciclagem e disposição em aterros. Quanto mais úmidos forem os lodos, mais pastosos e difíceis de serem manuseados eles serão. Eles se comportam como “massas moles”, de baixa consistência. Até mesmo os aterros de lodos ficam instáveis e perigosos de se trabalhar com máquinas sobre eles. A compactação desses aterros só pode ser melhorada pela mistura dos lodos com terra, areia, dregs/grits ou cinzas de biomassa, em proporções que variam de 1,5 a 2 volumes desses materiais para 1 volume de lodo.

A água está presente nos lodos de diferentes formas:

- Água capilar;
- Água adsorvida;
- Água livre;
- Água de constituição (nas moléculas do sulfato de alumínio ferroso que é hidratado em sua constituição molecular).

A água livre é a mais fácil de ser removida, mas as outras exigem tratamento mecânico ou térmico para serem extraídas, ainda que parcialmente.

Alguns lodos deságuam mais facilmente, especialmente aqueles ricos em cargas minerais e em fibras celulósicas. Já os lodos contendo material biológico (secundário) ou micro-flocos de floculação induzida (terciário químico) são muito mais difíceis de terem sua água extraída (desaguamento e/ou secagem).

Quando temos flocos orgânicos muito pequenos, a água fica retida no “corpo do lodo”, sendo necessárias forças mecânicas de centrifugação ou de

pressão intensas para essa extração. Na maioria das vezes, são utilizados produtos facilitadores de desaguamento, que agregam os micro-flocos em flocos maiores de mais fácil drenagem e deságüe. Quando o lodo desaguado for utilizado em processos de combustão, esses agentes poliméricos facilitadores de desaguamento devem ser também orgânicos e não podem depreciar a queima, nem gerar compostos tóxicos nas fumaças das chaminés.

Na maioria dos casos de práticas industriais na indústria de celulose e papel, os lodos possuem consistências que variam entre 15 a 60% (situações mais otimistas). Isso se consegue conforme o tipo de lodo e de equipamentos para desaguamento por pressão ou centrifugação. Já quando se usa a energia térmica de gases aquecidos para trocar calor com lodos previamente prensados, a consistência pode atingir valores entre 75 a 90%. Essa é uma situação que se popularizará, em função das potencialidades que existem para os lodos como matérias-primas e como biomassa energética. Como essas utilizações demandarão mais transportes e manuseios, nada melhor do que se trabalhar com menor peso de lodo úmido, para mesmo peso seco de lodo gerado. O mais lógico e prático é a redução de pesos e volumes de lodos pelo melhor desaguamento ou secagem, desde que isso não interfira nas características de processabilidade dos lodos. Há casos onde a secagem pode levar a lodos de mais difícil processamento ou até mesmo de formação de lodos endurecidos e de difícil reciclagem. Nesses casos, há que se eleger o ponto ótimo de secagem. Se a secagem for para queima ou aterramento final do lodo, uma sobre-secagem não prejudicará essas utilizações, pelo contrário, poderá facilitar e melhorar as performances.

Secadores de lodos podem-se tornar viáveis, caso a empresa disponha de excesso de energia térmica ou elétrica. Nesses casos, deve-se quantificar muito bem os ganhos ambientais, sociais e econômicos, bem como o “pay-back” dos investimentos demandados, e os custos operacionais dessas novas operações em relação às anteriores.

Apesar das vantagens de se trabalhar com lodos bem desaguados, a faixa mais usual nas fábricas de celulose e papel está entre 20 a 40% de consistência, para operações rotineiras. São poucas as empresas que extrapolam essa faixas, tanto para baixo, como para cima.

Conforme os tipos de lodos e sua constituição física e química, eles podem ser desaguados com maior ou menor facilidade. Os lodos primários ricos em fibras e em cargas minerais são os que deságuam melhor, independentemente do tipo de equipamento usado na operação (prensas ou centrífugas). Atualmente, em fábricas de celulose de mercado e em fábricas integradas de papel, a geração de lodo primário varia entre 0,5 a 20 kg secas/tonelada seca ao ar do produto vendável. Entretanto, há fábricas de papel reciclado que chegam a produzir 100 a 400 kg de lodo primário seco por tonelada de papel vendável. O teor de lodo secundário é variável, mas sempre função das perdas orgânicas aos efluentes setoriais. Sua quantidade

tem variado entre 3,5 a 12 kg secos por tonelada de produto vendável produzido. A relação entre lodo primário e lodo secundário é portanto enormemente variável. Em algumas situações, o lodo secundário biológico é o mais freqüente, em outras, o oposto. Essa relação está diretamente relacionada às facilidades de desaguamento dos lodos e às perdas de processo para o lodo primário.

Os lodos biológicos são mais difíceis de desaguar que os lodos primários. Outro fator que afeta a remoção de água dos lodos biológicos é a idade dos lodos. Quando se trabalha com lodos mais velhos (de idade entre 15 a 30 dias), gera-se menos lodo biológico, pois se extrai menos. Entretanto, esses lodos velhos são mais difíceis de desaguar, pois têm partículas menores e cargas elétricas mais fracas. As cargas elétricas negativas dos lodos são importantes para a otimização das dosagens de polímeros, usados para acelerar o desaguamento pela formação de flocos maiores no lodo enviado às prensas ou centrífugas.

Os lodos terciários químicos, resultantes da floculação com sulfato de alumínio, policloreto de alumínio, cloreto férrico ou taninos floculantes, são mais difíceis de desaguar. Perde-se pelo menos 10 a 20% de eficiência na prensagem ou centrifugação, quando se deságua esse tipo de lodo. Em geral, o principal constituinte desses lodos químicos são as próprias moléculas do floculante usado (tais quais ou modificadas). São lodos úmidos, químicos, volumosos e com partículas muito finas. Em fábricas de celulose de mercado com tratamento terciário de seus efluentes, torna-se o lodo principal em volume e peso. Por essa razão, dificultam as operações subsequentes de desaguamento. Nas melhores situações de desaguamento de lodos terciários, conseguem-se valores de 25 – 30% de consistência para esse tipo de lodo. No caso de se usar sulfato de alumínio como floculante, o lodo terciário chega a ter entre 50 a 65% de seu peso seco como sendo desse clarifloculante.

Em geral, as ETEs – Estações de Tratamento de Efluentes de fábricas de celulose de mercado tendem a misturar todos os lodos. Já as fábricas de papel, que possuem muito lodo primário, costumam desaguar e extrair os lodos separadamente. Nesses casos, o lodo primário é rico em cinzas e tem baixa viabilidade para queima. Já não é o caso do lodo secundário biológico, que pode ser queimado em caldeiras na fábrica, pois é praticamente muito orgânico. Discorreremos sobre isso mais tarde, em uma outra seção.

É comum que os operadores das ETE's sejam apaixonados pelo lodo primário, pois as fibras de celulose o tornam muito mais fáceis de serem desaguados e processados. Entretanto, é um gosto caro, pois as fibras perdidas teriam um valor muito maior como produto final celulósico ou matéria-prima valiosa para fabricar papel e não como auxiliar de desaguamento de lodos.



Prensas desaguadoras de lodos

O desaguamento pode ser melhorado por operações simples de pré-desaguamento. Quando o lodo sai da ETE e é bombeado para o setor de desaguamento, ele está em consistências muito baixas, entre 1,5 a 2,5%. É importante se engrossar um pouco esse lodo para consistências entre 3 a 10%, o que pode ser conseguido em engrossadores rotativos e filtros gravitacionais ou a vácuo. O pré-desaguamento remove excesso de água livre e reduz substancialmente o volume de lodo para as operações subsequentes de desaguamento e/ou secagem.

Através do pré-desaguamento consegue-se:

- Estabilizar a consistência do lodo a ser desaguado;
- Estabilizar e aumentar a consistência do lodo desaguado, reduzindo seu peso e volume;
- Reduzir as dimensões dos equipamentos de desaguamento;
- Melhorar a qualidade do filtrado extraído;
- Melhorar a eficiência total de remoção de água.

Dispondo-se de um lodo pré-desaguado e com características mais estáveis, podemos encaminhar o mesmo para o desaguamento propriamente dito, que vai tentar elevar sua consistência ao máximo valor que a unidade conseguir. Isso é feito em uma única etapa de operação, mas poderia ser feita em mais de uma, com a possibilidade inclusive de se lavar o lodo do efluente que o contamina, na usual maneira de lavagem em contra-corrente.

A seleção da tecnologia a ser aplicada nesse desaguamento vai depender de alguns fatores, tais como:

- Parâmetros ambientais legislados para a fábrica (por exemplo: quantidade máxima de lodos a serem gerados por dia);
- Quantidade e qualidade do lodo a desaguar;
- Disposição e uso que se quer dar ao lodo desaguado;
- Quantidade de contaminantes presentes no lodo, por exemplo, cloretos que vão prejudicar sua queima em caldeiras de recuperação kraft;
- Disponibilidade de espaço para as máquinas de desaguamento;
- Disponibilidade de área para aterro ou reciclagem de lodos;
- Necessidade de diminuição do excesso de percolados ou “água contaminada que mina dos lodos” aterrados ou em processo de reciclagem;
- Investimentos necessários e “pay back”;
- Custos operacionais;
- Qualidade do filtrado do desaguamento e que deve ser retornado aos processos da ETE;
- Performance esperada nessas operações: capacidade líquida de desaguamento, capacidade de absorção de variações de qualidade dos lodos, sensibilidade a entupimentos e trancamentos, consumos de energia e insumos químicos, etc.

A taxa de captura de sólidos secos pelos equipamentos de desaguamento varia entre 80 a 95%, o que não é capturado retorna com os filtrados para nova passagem pela ETE. Sendo assim, o teor de sólidos do líquido removido varia entre 500 a 10.000 ppm de sólidos secos.

A alimentação de lodos ocorre a consistências entre 3 a 5% e sua descarga varia entre 20 a 60%. São faixas de variação grandes, que representam grandes volumes de líquidos deixados ou removidos dos sólidos secos do lodo. Além disso, há grandes fluxos de filtrados a bombear, estocar e muita energia despendida também.

O desaguamento em si é uma operação de separação de fases, a líquida da sólida dos lodos a baixas consistências. Seu objetivo é remover o máximo possível da fase líquida, com o mínimo escape possível de sólidos para a água extraída. A água ou efluente que acompanha o lodo é uma água perdida pelo processo, mas ela seria perdida normalmente como efluentes, se não saísse com o lodo. Já a água extraída no desaguamento volta para a

ETE, na forma de um reciclo, mas também será inevitavelmente perdida, pois sairá mais cedo ou mais tarde ou como lodos ou como efluentes.

São diversas as causas de variação na capacidade de retenção de água pelos lodos, o que afetará sem dúvidas o seu desaguamento e secagem. Existem alguns fatores facilitadores para remoção de água e outros que são dificultadores:

- A presença de fibras é fator facilitador;
- A presença de cargas minerais neutras e inativas também é fator facilitador;
- A temperatura do lodo atua na tensão superficial da água e pode facilitar o desaguamento quando as temperaturas são mais altas;
- Tamanho dos flocos: quanto maiores os flocos, mais fácil o desaguamento;
- Teor de carboidratos celulósicos (celulose e hemiceluloses) na forma de fibrilas semi-destruídas ajudam a tornar o lodo “mais gordo e inchado”, dificultando a remoção de água;
- Teor de lignina hidrofóbica facilita a extração de água;
- Teor de cargas eletronegativas na superfície das partículas facilita a ação dos polímeros catiônicos na sua missão de aumentar o tamanho dos flocos do lodo;
- O pH mais alcalino dificulta o desaguamento, enquanto o mais ácido facilita;
- Etc.

O operador das ETE's deve observar as características dos seus lodos antes de tomar ações drásticas em termos, por exemplo, de adicionar excessiva carga de polímeros na esperança de melhorar o desaguamento. Ou então, de forçar a prensagem, sem resultados imediatos pela característica muito alcalina do lodo naquele momento operacional.

Há outras coisas simples que os operadores podem acompanhar e solicitar avaliações laboratoriais para melhor e mais efetiva atuação:

- Dimensões dos flocos de lodo presentes como sólidos suspensos no lodo a ser desaguado;
- Tempo e volume decantado de uma suspensão padronizada de lodo em cone de Imhoff (facilidade de decantação versus repelência entre as partículas);
- Resistência ao cisalhamento e à prensagem dos micro-flocos e dos flocos após adição de polímero;
- Carga ideal de floculante/polímero para melhor performance operacional;
- Capacidade de incrustações e entupimentos de telas, mantas, etc. causadas pelos lodos no maquinário de desaguamento;

- Temperaturas e pHs mais indicados para ótima performance;
- Ponto mais adequado para adição de floculantes;
- Potencial zeta do lodo como forma de entender sua eletronegatividade;
- Etc.

Independentemente do tipo de equipamento disponível, a otimização operacional é vital para economia de insumos, melhoria da qualidade do lodo desaguado, melhoria de índices de produtividade, etc. Existe portanto uma atenção contínua dos operadores de sistemas de lodo para:

- Aumento da consistência final do lodo desaguado;
- Redução de uso de produtos químicos caros usados no auxílio ao desaguamento;
- Redução de custos operacionais;
- Redução nas perdas de sólidos suspensos que escapam com o filtrado;
- Redução nas perdas de polímeros que escapam com os filtrados e que podem inclusive prejudicar alguma operação no ponto onde sejam destinados;
- Ou então: adequada destinação do filtrado do desaguamento para aproveitamento do residual de floculante ainda não reagido;
- Redução dos desgastes dos maquinários e que são causados por erosão, abrasão, qualidade do lodo, etc.;
- Redução da presença de odor na área fabril do deságüe de lodos;
- Redução do consumo energético da planta de desaguamento;
- Etc.

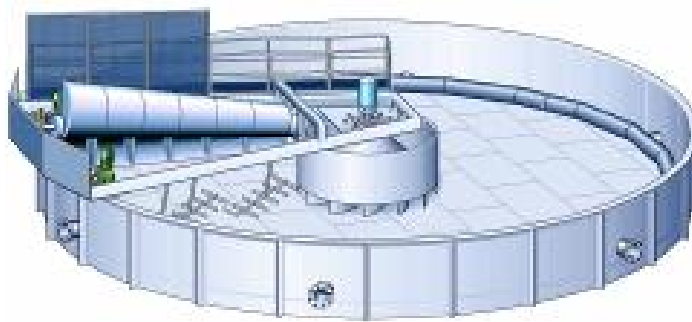
Os principais floculantes/coagulantes utilizados na formação de flocos maiores e para facilitar a extração de água da torta de lodo são: dietilamina, poliacrilamidas catiônicas, cloreto férrico, cloreto férrico com cal, etc. É comum também a combinação de tipos diferentes de floculantes, mas isso requer testes de bancada laboratorial antes do uso em escala industrial.

O teor e tipo de floculante/coagulante a usar vai depender de:

- Consistência do lodo entrante no equipamento de desaguamento;
- Consistência que se deseja obter no lodo que sai da estação de desaguamento;
- Proporção da mistura de tipos de lodos a desaguar;
- Teor de fibras celulósicas e de cargas minerais (cinzas) no lodo a desaguar;
- Tipo de desaguador (prensas, centrífugas, roscas, etc.);
- Custos dos floculantes, relacionados à sua eficiência;
- Temperatura e pH das operações;
- Etc.

Diversos tipos de equipamentos desaguadores são comumente utilizados para pré-desaguar e para desaguar lodos.

O pré-desaguamento usa peneiras rotativas ou estáticas, filtros engrossadores, prensas simples de correias ou esteiras, flotadores, etc.



Flotador - Fonte: Meri Paper



Peneira estática para separação de lodo fibroso

O desaguamento exige mais energia, pressão, força centrífuga, etc. São usadas as prensas de tela dupla, prensas de correias ou esteiras, prensas parafusos, filtros-prensas rotativos, filtros prensas de rosca, prensas tipo V, centrífugas, "decanter", etc.



Prensas de lodos

A performance de desidratamento varia muito em função da adequação dos equipamentos às características dos lodos. Lodos com muitas fibras longas, em alguns casos, podem até mesmo prejudicar a operação de um determinado tipo de equipamento desidratador, por exemplo, uma prensa parafuso, que pode entupir ou embuchar pelo acúmulo de fibras na sua saída.

Existem situações extremas, mas comuns, onde a empresa precisa recuperar lodos que assorearam lagoas de emergência, por exemplo. São lodos apodrecidos, em estado avançado de decomposição anaeróbica, que exalam forte odor nauseabundo. Nesses casos, o desidratamento é ainda mais complexo. Há duas maneiras mais usuais de se fazer esse tipo de serviço:

- Enviar gradualmente e de forma dosada o lodo extraído do fundo das lagoas para ser misturado aos lodos de processo e passar pelo sistema de desidratamento padrão, esforçando-se para manter a mistura em uma forma tal que não prejudique a qualidade da operação e do lodo na saída da máquina de desidratar;
- Usar bolsas ou sacos sintéticos de filtração (“geotubos”) para promover a separação da água dos lodos apodrecidos.



Geotubos ou bolsas de desidratamento e filtração de lodos

O odor de toda a área de lodos pode ser desagradável, tanto para os operadores como para as comunidades vizinhas. No caso de lodos apodrecidos, a situação é muito pior. Os lodos estocados em tanques e os que existem assoreando lagoas tendem a sofrer degradação anaeróbia. Nessa degradação, formam-se gases perigosos, inflamáveis e de mau odor: metano (CH_4) e gás sulfídrico (H_2S). As condições de baixa oxigenação estimulam o desenvolvimento de microrganismos que buscam sua energia metabólica em reações de oxi-redução. Eles acabam gerando esses gases perigosos e causadores de efeito estufa, em função desse metabolismo sem oxigênio. Quanto maior o teor de umidade de lodos estocados, maior é o potencial de se ter anaerobiose ocorrendo. Os lodos mais secos já possuem porosidade ocupada por ar, e com a presença de oxigênio, a degradação anaeróbia é desfavorecida. As empresas devem colocar sensores de H_2S para garantir melhor qualidade e segurança ocupacional aos trabalhadores nas áreas de lodo.

Quando se forma H_2S nos tanques de estocagem e nos depósitos de lodo, o filtrado percolado contém esse tipo de gás perigoso. Ao se retornar esse filtrado ao tratamento de efluentes, deve-se tomar muito cuidado ao abrir galerias ou tanques onde esse gás possa ter ficado retido em bolsões. Já conhecemos diversos acidentes com morte de operadores envenenados pela super-concentração desses gases.

O gás sulfídrico que retorna ao efluente tem ainda a capacidade de estimular o aparecimento de bactérias filamentosas causadoras do fenômeno de "bulking" do lodo nos equipamentos de decantação. Isso porque esse tipo de bactérias tem preferência por esse gás como fonte de energia em seu metabolismo.

De qualquer maneira, a melhor forma de controlar o odor na área de lodos e efluentes é não deixar por longos períodos de tempo os lodos estocados em tanques e lagoas mantidas a céu aberto. Também, no caso de se ter tanques fechados, lembrem-se sempre da possibilidade de se formar gás sulfídrico como bolsões de gases na parte superior desses tanques. Algo que não pode ser nunca esquecido pelo bem-estar e saúde dos trabalhadores.



Lodo seco e granulado

Com o aumento dos custos de destinação final de lodos em aterros, bem como com a minimização requerida na geração dos mesmos, têm ocorrido algumas tendências recentes que são:

- Destinação de lodos mediantemente desaguados para compostagem e uso agrícola;
- Destinação de lodos bem mais desaguados ou secos para queima em caldeiras de força;
- Destinação de lodos com umidades mais baixas e controladas para usos como matérias-primas de diversos processos industriais. A baixa umidade deve ser uma exigência para poder se transportar os lodos até os clientes, a distâncias às vezes não tão próximas.

A necessidade de consistências acima de 50% tem sido uma demanda para os novos projetos de fábricas de celulose e papel. Esse é um valor mínimo de consistência que possa causar estímulos aos potenciais clientes, inclusive as próprias áreas internas de geração de energia.

Uma outra pressão tem vindo dos órgãos de controle e fiscalização, que autorizam licenças de instalação e operação cada vez mais restritivas. Nessas licenças tem havido uma tendência de se fixarem os volumes e pesos de resíduos sólidos gerados, entre os quais os lodos. Fácil concluir que uma das formas mais fáceis de estar em conformidade legal nesse particular é aumentando a consistência dos lodos.

Lodos mais secos também geram menos odor, demandam menos manuseios e ocupam menos espaços. Perdem também menos líquidos contaminados por lixiviação e percolação. Em resumo, um grande número de vantagens já mencionadas algumas vezes ao longo desse texto.

Por tudo isso, a secagem de lodos de tratamento de efluentes tem sido uma alternativa cada vez mais considerada nas plantas industriais, quer elas estejam em fase de projeto, ou de modernização tecnológica.

Lodos secos são definitivamente vantajosos pois:

- Possuem muito menos geração bruta em peso e volume;
- Não possuem percolados ou lixiviados escorrendo e contaminando áreas e veículos;
- Não possuem cheiro desagradável;
- Queimam mais facilmente nas caldeiras;
- São mais facilmente comercializados com as partes clientes interessadas;
- São mais valiosos;
- Têm aspecto de produtos e não de resíduos;
- Dão um aspecto limpo e saudável ao processo como um todo.

Entretanto, nem tudo é maravilhoso na secagem de lodos, pois ocorre liberação de fumaças e algum odor, consome-se energia e representam novos custos a serem avaliados se possuem atratividade econômica. Em muitos casos, esses custos de investimentos e de operação são facilmente recuperados, tudo depende de quanto se gasta no momento anterior à secagem com a destinação e reciclagem dos lodos mais úmidos.

Existem diversos tipos de secadores de lodos no mercado. Os mais comuns são os de esteira móvel em túnel de gases quentes e os secadores rotativos. O aquecimento pode ser feito com gases aquecidos indiretamente pelo vapor, ou por gases quentes de processo (aquecimento direto ou indireto). Os gases mais recomendados são os de exaustão de processos de combustão. Os gases de secagem dos lodos em geral estão em temperaturas que variam de 70 a 140°C. Os consumos de energia elétrica são baixos, já que essas esteiras e tambores se movimentam lentamente e sem muita demanda energética.



Existe um *monstro* a nos assustar por trás das baixas consistências dos lodos
Ilustração: Alessandra Foelkel

Vamos agora lhes apresentar uns poucos cálculos numéricos que demonstram claramente o que representa a água (na verdade efluente contaminado) que está presente nos lodos.

Seja uma fábrica de celulose que gera 12 kg de lodos secos totais por tonelada de celulose seca ao ar como produto manufaturado para venda. Esse lodo sai dos decantadores a 2% de consistência, passa por um pré-desaguamento e atinge 5% de consistência. O desaguamento propriamente dito eleva a consistência para 40% e finalmente esse lodo é secado a 85% de consistência. Admitamos que não ocorram perdas, até mesmo porque esses sólidos que saem nos filtrados não são perdidos, mas ficam em “loop” fechado no sistema.

Por exemplo, uma tonelada seca ao ar de polpa então gera os seguintes tipos de lodos:

12 kg odt de lodo/adit polpa de mercado correspondem a:

600 kg de lodo a 2% de consistência

240 kg de lodo a 5% de consistência

30 kg de lodo a 40% de consistência

14 kg de lodo a 85% de consistência

As quantidades de água extraída em cada uma dessas fases de concentração/adensamento/secagem do lodo são as seguintes: 360 kg; 210 kg e 16 kg.

A maior parte da água é removida no pré-desaguamento e no desaguamento por prensagem. Sobra muito pouca água para ser removida por meios térmicos com aquecimento do lodo para evaporação da água residual entre os 40% e os 85% de consistências. A expectativa é que a secagem de lodos usando gases residuais quentes de nossas fábricas seja alguma coisa que vai crescer tecnologicamente, pelas inúmeras vantagens e pela enorme ecoeficiência que oferece.

A simplicidade agradece - vamos nos esforçar para que surjam empresas cada vez mais ecoeficientes e que isso ocorra logo.



Plantando mudanças



LODOS DE ETA'S – ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS



Lodo de ETA desaguado e prensado

Apesar dos lodos das estações de tratamento de água passarem em geral despercebidos nas fábricas de celulose e papel, sua geração não deixa de ser importante. Isso porque os volumes de água tratados são enormes, em função dos consumos entre 25 a 50 m³ de água tratada por tonelada seca ao ar de celulose e/ou papel (em fábricas integradas). Em termos específicos, as quantidades geradas não são tão pequenas, entre 0,5 a 6 kg absolutamente secos por tonelada seca ao ar de celulose e/ou papel. Em termos úmidos varia entre 1,5 a 15 kg (tal qual) por adt celulose. Esse lodo da ETA lembra muito um lodo de barro, de argila, sendo bem mais fácil de ser desaguado.

Existem algumas razões para esse desconhecimento e pouca atenção aos lodos das ETA's:

- O descarte desse lodo é feito diretamente ao corpo de água de onde se captou a água, sem tratamento algum. Com isso, perde-se a visibilidade sobre esse resíduo;
- O descarte desse lodo, ainda em muito baixa consistência, é feito para a ETE – Estação de Tratamento de Efluentes, dando origem a uma grande perda de água que acompanha esse lodo e a um lodo misto entre lodo de ETA e lodo de ETE.

O descarte diretamente ao corpo de água é um dano ambiental que me surpreende que ainda seja permitido pelas autoridades. Esse lodo leva cor forte, baixo pH, residual dos floculantes empregados, e certamente terá

um impacto sobre a vida aquática nas proximidades de seu ponto de lançamento. Isso ocorre tanto devido a empresas industriais como devido às estações de tratamento de água das municipalidades.

No caso do lodo de ETA ser mesclado ao lodo de ETE, tudo acaba saindo como lodo de ETE. Isso facilita o manejo dos resíduos sólidos, mas inviabiliza a utilização desse lodo de ETA para algumas finalidades que crescem em importância. Também, nas situações onde se promove a queima do lodo das ETE's em caldeiras, esse lodo de ETA misturado vai ser um fator complicador na qualidade energética do lodo.

Quando o lodo da ETA é removido em separado, ele tem maiores facilidades que os lodos de ETE's para ser desaguado em filtros e prensas de lodos, atingindo consistências entre 30 a 50%. Com um leito de secagem ao ar livre, pode chegar facilmente a consistências entre 65 a 80%

Sua geração se deve à floculação da matéria coloidal e orgânica presente nas águas dos rios e corpos de água de captação. Os floclantes mais usuais são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, PAC – Poli Cloreto de Alumínio e taninos floclantes. A geração diária é função da qualidade da água captada e existe forte influência sazonal. Quanto mais clara e limpa for a água captada, menor será sua geração. Nas estações chuvosas, os rios brasileiros são mais barrentos e ricos em material orgânico e material erodido de solos (argila, silte e areia). Essa variação de qualidade das águas dos rios é um fator complicador nas quantidades e qualidades dos lodos de ETA's para seu uso como matérias-primas em processos de reciclagem externa.

A principal destinação ao lodo de ETA's dos municípios brasileiros continua sendo o lançamento no corpo de captação, mas surgem crescentes utilizações como material para aterro de terrenos e solos degradados, capeamento de aterros industriais e lixões, bem como uso em reciclagem externa (cerâmicas, tijolos, etc.).



Tijolos contendo lodo de ETA's

Dentre suas potenciais e válidas utilizações podem ser enumeradas as seguintes:

- Aterro de áreas de mineração, saibreiras de onde se extraiu terra, áreas erodidas, etc.;
- Aterros na construção civil;
- Pavimentação de estradas de terra;
- Cobertura e compactação de aterros industriais e depósitos de lixos municipais;
- Uso industrial em cimenteiras e siderurgia;
- Uso na fabricação de blocos de concreto, cerâmica vermelha, tijolos, telhas, etc.;
- Fertilizante agrícola, quando as presenças de óxidos de ferro e matéria orgânica são elevadas;
- Incineração em queimadores junto a algum combustível auxiliar, devido ao seu baixo poder calorífico.



Lodo do tratamento de água a baixa consistência
Fonte: Sabbag e Morita, 2003

Os elevados custos de disposição e as exigências legais para que esse lodo não mais seja jogado aos corpos de captação de água na forma “in natura” têm incentivado pesquisas para sua reciclagem. Evidentemente, nenhuma ETA de uma municipalidade ou de uma fábrica estará disposta a pagar entre 15 a 50 dólares equivalentes para enterrar esses lodos valiosos em aterros e ainda terem a responsabilidade sobre esse resíduo para sempre.

As principais características qualitativas de um lodo de ETA estão em seu alto teor de silício, alumínio e óxidos de ferro (em função do teor de

argilominerais). Outra vantagem desses lodos é sua fina granulometria (quase toda com partículas abaixo de 100 mesh), ainda mais se a estação de tratamento tiver uma eficiente etapa de desarenação e separação de partículas grosseiras e pesadas.

A presença de óxidos de ferro em proporções que variam entre 10 a 15% confere a esses lodos uma cor avermelhada, o que recomenda seu uso para materiais cerâmicos de cor vermelha, tijolos, telhas, etc. Há centenas de estudos técnicos mostrando o potencial desses lodos para essas utilizações. Isso é muito válido para o Brasil, um país de dimensões continentais e com uma enorme e crescente população a demandar água tratada e materiais de construção. São coisa que se casam muito bem, não é mesmo?

Existem por isso muitas possibilidades para uso crescente desse lodo de ETA, mesmo que parcialmente, nas receitas das muitas olarias, fabricantes de cerâmicas vermelhas, cerâmicas tipo grés, etc. As principais vantagens para os fabricantes de tijolos, telhas e cerâmicas seriam as seguintes:

- Aumento da vida útil das jazidas de argila;
- Redução dos custos de recomposição das áreas mineradas para extração de argila;
- Custo mais baixo do resíduo em relação à argila;
- Proximidades de inúmeros geradores desse tipo de lodo, o que ocorre em praticamente todos os municípios do país.

Para as ETA's municipais e industriais, as maiores vantagens estariam na solução do problema de descarte de um resíduo que vai custar caro para dispor de forma ecologicamente correta. A simples disposição desse lodo nos rios é algo que considero inaceitável e que precisa ser resolvido urgentemente.



Lodo de ETA sendo usado para capeamento de aterros
Fonte: Sabbag e Morita, 2003

No Brasil, são consumidas entre 15 a 20 milhões de toneladas de argilas por ano, retiradas de nossas várzeas para a produção de telhas, tijolos e cerâmicas. Admitindo-se uma geração de cerca de 3 - 4 quilogramas em média por tonelada de celulose e papel produzido no país, vemos que o potencial de geração desse lodo na forma seca é de cerca de 40 a 45 mil toneladas. Na forma úmida, sobe para mais de 100.000 toneladas. Somando-se a oferta de mais de 8.000 estações de tratamento de água municipais existentes no país, pode-se concluir a grandeza dessa contribuição para a produção de materiais de construção. Com a vantagem de ser um material de ocorrência totalmente distribuída em todo o país; ou seja, uma oferta nacionalmente integrada e de fácil e abrangente disponibilidade. Mesmo que o lodo de ETA's seja ofertado na forma úmida, a proximidade dos clientes deve estimular o seu uso.

Hoje, as ETA's municipais descartam, em cerca de 70% delas, os lodos aos rios, córregos e lagos. Jogam o lodo no local onde tiraram a água. A oferta desse lodo para a indústria de materiais de construção resolve problemas ambientais e sociais, além de melhorar a economia das empresas pelo material mais barato que é o lodo em relação à argila.

A maioria dos tijolos, telhas, vitro-cerâmicas, refratários, porcelanas e produtos cerâmicos consomem argilominerais, tais como: caulinita, quartzo, mica, gibsita, goethita, muscovita, etc. Em geral, esses argilominerais são extraídos de jazidas em solos hidromórficos, conhecidos como solos de várzeas. Os argilominerais são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, com eventual presença de alcalinos terrosos em pequena proporção. Esses argilominerais estão presentes nas argilas, misturados com sílica e óxidos de ferro.

A produção de cerâmicas e porcelanas exige materiais uniformes e adequados em especificações. Caso a qualidade não seja adequada, os seguintes tipos de problemas podem acontecer nas peças produzidas:

- Aumento de porosidade;
- Aumento de absorção de água;
- Retração volumétrica diferenciada;
- Inadequação na mistura, causando heterogeneidade da massa e da receita;
- Desprendimento de material das peças prontas e semi-prontas, especialmente nas laterais;
- Micro-trincas, trincas, quebras e fraturas;
- Formação de compostos eutéticos que reduzem o ponto de fusão e que atrapalham a queima das peças;
- Etc.

Em geral, esses problemas estão associados a: granulometria inadequada; excesso de matéria orgânica; excesso de óxidos de ferro; excesso de material alcalino como cal e carbonatos, etc.

A qualidade do material cerâmico é portanto muito dependente da matéria-prima utilizada e das tecnologias empregadas pelos fabricantes. Tanto isso é verdadeiro, que muitos fabricantes de cerâmicas não trabalham mais com argilominerais "in natura", mas sim com minerais beneficiados e cumprindo rígidas especificações. Por essa razão, para alguns tipos de cerâmicas e de refratários, os lodos de ETA's podem não ser tão indicados. Entretanto, mesmo para utilizações sofisticadas, é possível se ter algum percentual desses lodos nas receitas das cerâmicas e refratários. Para telhas e tijolos, a aceitação é ainda maior em percentagens nas receitas da massa básica a ser usada pelos fabricantes. Estudos e práticas industriais mostram que esses percentuais podem variar entre 5 a 25%, o que é muito bom para todos.

Os percentuais não são maiores por algumas razões típicas desses lodos: possuem variabilidade qualitativa elevada devido às diferenças de qualidade das águas dos rios; possuem elevado teor de matéria orgânica o que pode acarretar alta perda ao fogo na queima das peças (cerca de 15 a 20% de perda ao fogo na análise dos lodos de ETA's). Por outro lado, esses lodos possuem teores adequados de sílica, alumínio e teores interessantes de óxidos de ferro, que dão cor mais avermelhada para as peças de cerâmica vermelha, telhas e tijolos. Essa cor é sempre entendida como uma beleza estética das peças prontas.

O excesso de matéria orgânica não chega a ser um problema maior para alguns tipos de materiais, porque ela pode ser eficientemente destruída durante a fase de aquecimento da massa, em temperaturas entre 250 a 700°C. Acontece que essa destruição gera gases tais como o metano e o gás carbônico. Isso tende a aumentar a porosidade das peças, enfraquecendo-as. Portanto, nem sempre a destruição da matéria orgânica pode resultar positiva. Ainda que a matéria orgânica favoreça a plasticidade da massa úmida, ela precisa ser controlada em seu percentual para evitar problemas que possam ocorrer quando esses percentuais forem elevados. Em casos de percentuais altos, recomenda-se usar o lodo de ETA apenas para manufatura de telhas e tijolos. Materiais cerâmicos nobres são muito exigentes quanto a essa presença de material orgânico e de perda ao fogo.

A presença de carbonatos e de hidróxidos nos lodos também não é recomendável, pois eles também se decompõem ou se volatilizam durante as fases de aquecimento, queima e sinterização. Os gases gerados nessas operações prejudicam a qualidade, a porosidade, estabilidade e resistência das peças. Por essa razão, deve-se evitar o uso de cal ou de soda nos controles de pH desses lodos.

O quadro a seguir mostra uma comparação geral entre a argila e lodos de ETA's, sendo apenas indicativa de diferenças ou semelhanças mais marcantes. Cada caso deve ser analisado em particular.

	ARGILA	LODO DE ETA
Umidade, %	30 - 60	50 - 65
Teor de secos, %	40 - 70	35 - 50
Matéria orgânica base seca, %	8 - 12	15 - 25
Fe 3+ , %	6 - 10	4 - 6
CO ₃ 2- , %	1 - 1,5	1 - 1,5
Al 3+ , %	6 - 8	5 - 8
Sílica, %	30 - 35	30 - 45

Outras vantagens dos lodos de ETA's podem ser trabalhadas na geração dos mesmos: material de granulometria fina e estável; umidade e pH uniformes, ausência de cal ou soda residual.

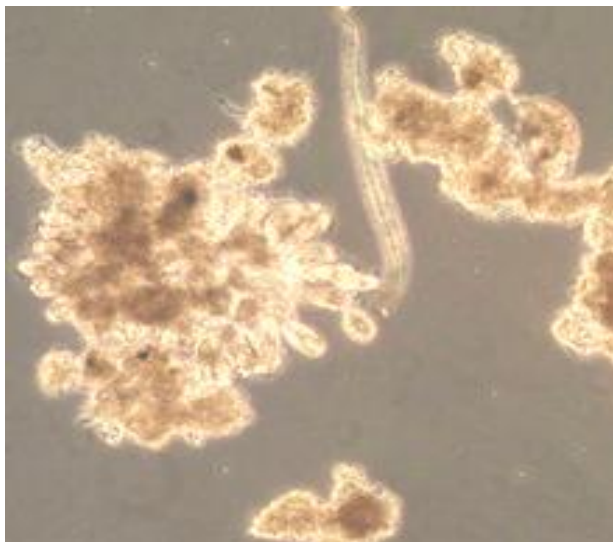
As altas proporções de sílica, óxido de ferro e óxido de alumínio são suas principais características. Esses três componentes compreendem cerca de 75 - 80% do peso seco de um lodo de ETA, sendo o restante matéria orgânica e elementos menores como óxidos de potássio, magnésio, cálcio, sódio e manganês.

Quando se utilizam outros tipos de flocculantes, que não seja o sulfato de alumínio, a proporção de óxido de alumínio pode diminuir, mas pode crescer a proporção de óxidos de ferro.

Uma coisa é absolutamente certa de se afirmar: os lodos de ETA's não podem e não devem mais serem considerados e tratados como resíduos. Eles merecem respeito e tratamento diferenciado na sua gestão, para atenderem melhor as especificações de importantes indústrias onde podem ser muito úteis. A da construção civil é uma delas, mas outras potencialidades mais existem, como visto ao longo dessa seção.

=====

LODOS DA FABRICAÇÃO DE CELULOSE DE MERCADO



Floco de lodo biológico e alguma de sua microbiologia

Fábricas modernas de celulose de mercado têm potencial para baixa geração de lodos em suas grandes e tecnologicamente avançadas ETEs - Estações de Tratamento de Efluentes. Entretanto, não é a realidade que se encontra na vida diária. As fábricas, mesmo as de idades tecnológicas recentes, sempre estão a gerar muito lodo e de surpreendentemente baixos e irregulares teores de sólidos secos.

Acredito que, em parte, essa geração se deva a três razões principais:

- O projeto não contempla conceitos fundamentais de prevenção de perdas de fibras e de matéria orgânica aos efluentes;
- O projeto não contempla segregação de tipos variados de efluentes para tratamentos diferenciados e às vezes setoriais (dentre os muitos casos possíveis de mencionar, cito especificamente o das águas de lavagem de toras que sempre levam terra aos lodos primários e que poderiam ser recuperadas e recicladas de forma simples na própria área de madeira);
- Os resíduos não são considerados ou tratados como produtos valiosos a serem reciclados dentro ou fora da empresa, merecendo por isso mesmo especificações e controle de qualidade como quaisquer outros dos produtos vendáveis da empresa.



Lodo desaguado de ETE de fábrica de celulose de mercado

As quantidades de lodos geradas são bastante variadas entre as diversas unidades produtoras de celulose de mercado e também nas fábricas integradas de papel de eucaliptos.

Essas taxas de geração variarão basicamente em função de:

- Perdas de fibras, muitas vezes exageradamente altas (lodo primário);
- Contaminações de areia e terra (lodo primário e resíduos de desarenação resultantes de contaminações da área de lavagem das toras de madeira);
- Envio para a ETE dos sólidos suspensos do efluente pluvial em dias de chuva;
- Perdas de matéria orgânica quimicamente recuperável (filtrados e condensados) nos efluentes setoriais (resultarão em lodo biológico secundário);
- Opção para tratamento terciário por clarifloculação com sulfato de alumínio ou policloreto de alumínio (gerarão enormes volumes de lodo terciário).
- Qualidade da água bruta tratada na ETA – Estação de Tratamento de Águas e eventual envio do lodo da ETA para se misturar com o lodo da ETE.
- Baixa e irregular eficiência do processo de desaguamento dos lodos, com consistências em geral baixas e variáveis.

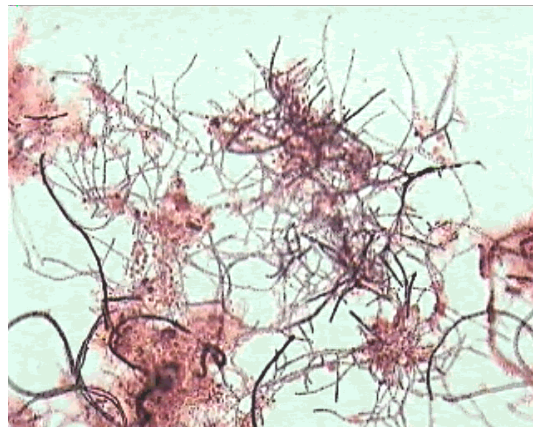
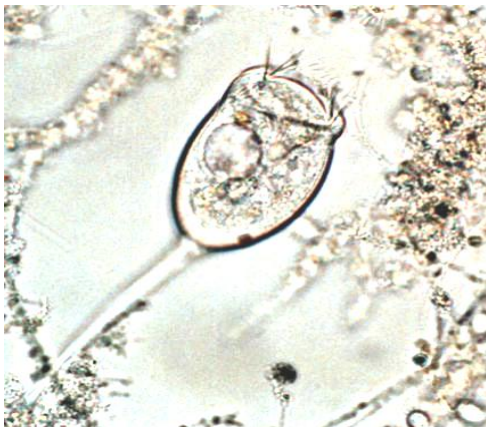
Na maioria dos casos, a consistência desses lodos varia entre 15 a 60%, mas somente nas melhores situações esses valores mais altos são alcançados, mas não são usuais. Para se facilitar o desaguamento do lodo e com isso melhorar a consistência dos mesmos na sua retirada, algumas empresas utilizam polímeros floculantes (para aumentar o tamanho dos flocos) ou mesmo pó de serragem mesclado ao lodo. Esse pó de serragem deve ser fino e parecido a um material plumoso. Essa serragem também

melhora o poder calorífico do lodo quando a forma de se tratar o lodo gerado for por incineração na caldeira de biomassa.

Existe também uma tendência, até mesmo inocente, dos operadores “gostarem” da presença de fibras no lodo primário, pois elas facilitam o desaguamento dos lodos biológicos e mesmo dos lodos terciários. Essa facilidade até mesmo é verdadeira, mas fibras de celulose são o objetivo de produção industrial das fábricas e elas são por demais valiosas para serem desejadas e utilizadas como agentes facilitadores de desaguamento de lodos de efluentes, não é mesmo? Embora eu já tenha escrito isso anteriormente, repito para que não esqueçam dessa tolice técnica, praticada por muitos. Portanto, se alguém pensar e agir nesse sentido, estará jogando contra os objetivos estratégicos da empresa produtora de celulose e/ou papel.



Pó de serragem para mistura ao lodo para facilitar desaguamento e prensagem dos lodos da ETE



Fibras, flocos e microrganismos em lodos

As quantidades geradas de lodos em fábricas de celulose de mercado variam dentro das seguintes faixas:

Lodo primário: 0,5 a 6 kg absolutamente secos (kg a.s.) por tonelada de celulose seca ao ar (adt)

Lodo secundário biológico: 3 a 10 kg a.s. /adt celulose

Lodo terciário da clarifloculação: 10 a 20 kg a.s./adt celulose

Em termos úmidos, essas quantidades variam em função do teor de umidade praticado no desaguamento/prensagem ou centrifugação do lodo. Percebe-se do valor acima que o lodo terciário é o “grande vilão” em termos de participação nas quantidades totais de lodos produzidos. Portanto, ao se restringir exageradamente os valores de cor e demanda química de oxigênio nos efluentes finais, acabamos deixando de aceitar uma ligeira coloração como a de um refrigerante como o guaraná nos efluentes para trocar a cor mais limpa dos mesmos por uma grande geração de lodo terciário rico em alumínio e/ou ferro. Há que se entender melhor o impacto do tratamento terciário na geração de lodo nas ETEs, algo que parece que fica esquecido pelos legisladores quando focam apenas na qualidade do efluente tratado e se esquecem dos resíduos sólidos gerados.

Vejam a seguir a que pesos os lodos secos gerados se convertem quando retirados úmidos das nossas fábricas:

Geração de lodo quando a 17% de consistência:

Lodo primário: 3 a 35 kg tal qual por tonelada de celulose seca ao ar (adt)

Lodo secundário: 18 – 58 kg tal qual /adt celulose

Lodo terciário: 59 a 118 kg tal qual /adt celulose

Geração de lodo quando a 30% de consistência:

Lodo primário: 1,7 a 20 kg tal qual por tonelada de celulose seca ao ar (adt)

Lodo secundário: 10 a 33 kg tal qual /adt celulose

Lodo terciário: 33,5 a 67 kg tal qual /adt celulose

Geração de lodo total (primário e secundário apenas):

Base 100% seco: 3,5 a 16 kg absolutamente secos/adt celulose

Base 17% secos: 20 a 90 kg tal qual/adt celulose

Base 30% secos: 12 a 50 kg tal qual/adt celulose

Geração de lodo total (primário, secundário e terciário):

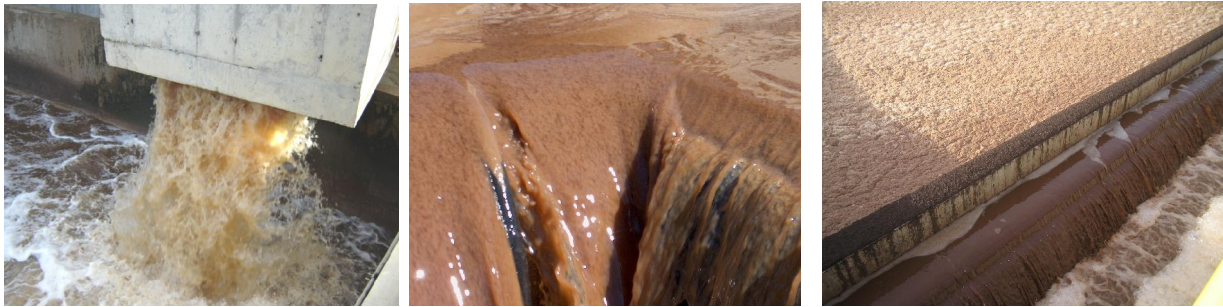
Base 100% seco: 13 a 36 kg absolutamente secos/adt celulose

Base 17% secos: 80 a 210 kg tal qual/adt celulose

Base 30% secos: 45 a 120 kg tal qual/adt celulose

Em algumas situações, o peso de lodo pode estar acrescido de alguma quantidade de serragem de madeira, que é adicionada para facilitar o desaguamento.

De qualquer maneira, essas quantidades de lodos gerados são muito variadas e muito particulares de cada fábrica, de suas perdas, de seus tratamentos e do “design” básico de seu projeto.



Lodos e efluentes – uma íntima interação nas nossas fábricas

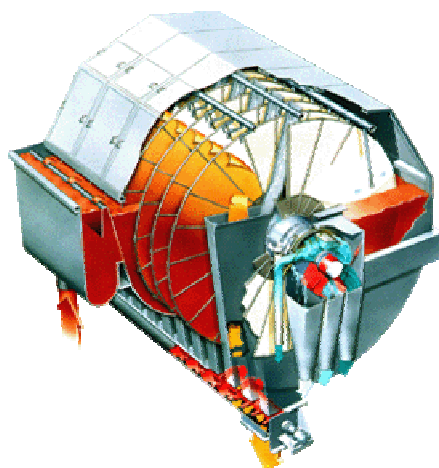
“Não se esqueçam que a água presente nos lodos é na verdade o efluente exatamente no ponto onde o lodo foi removido, com todos os seus constituintes típicos desse ponto”

Acredito que ficou claro para vocês a importância do teor de umidade ou da consistência de extração do lodo que será manuseado e/ou disposto. Como os lodos são recolhidos, transportados, compostados ou aterrados com base em seu peso tal qual, quanto menor a umidade dos mesmos, melhor para as operações e menores serão os custos envolvidos. Estamos sempre a repetir isso para termos certeza que os geradores de lodo em nossas fábricas vão guardar isso muito bem.



Desaguamento de lodo

Essas enormes variações em quantidades geradas de lodos secos e desaguados dão uma clara visão de como a gestão e a prevenção das perdas que se convertem em lodo pode trazer vantagens ambientais, sociais, econômicas e de muita sustentabilidade às nossas empresas. É só uma questão de saber entender os caminhos das perdas nas fábricas e tratar de sua recuperação interna, antes que elas se convertam em lodos a serem manejados, reciclados e/ou dispostos de forma mais cara e trabalhosa.



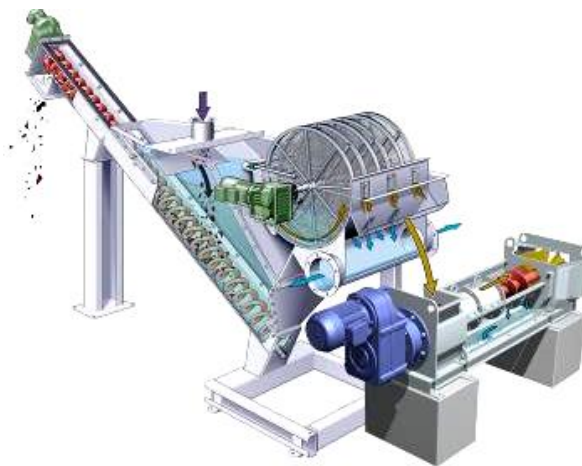
Recuperador de fibras – Filtro a discos

Tenho ainda a plena convicção de que os enormes decantadores de lodos primários são perfeitamente dispensáveis em fábricas de celulose de mercado que não possuem perdas de cargas minerais que são comuns na fabricação dos papéis. O lodo primário é constituído basicamente de valiosas fibras celulósicas perdidas e de resíduos de terra e areia.

Bastaria que tivéssemos nossa atenção para:

- Recuperar as fibras celulósicas onde elas estão sendo perdidas nas fábricas;
- Fazer uma gestão diferenciada para águas de chuva (retornando as mesmas para a ETA – Estação de Tratamento de Águas);
- Não enviar o lodo da ETA ao efluente geral, cuidando para seu desaguamento e reciclagem em separado;
- Reciclar e recuperar setorialmente as águas de lavagem das toras, removendo terra e areia na área de preparação da madeira e não no decantador primário da ETE;
- Não enviar os rejeitos dos depuradores hidrociclônicos aos efluentes, engrossando-os no local de sua geração e encaminhando os mesmos para uma reciclagem interna (recuperação das fibras) ou externa (como produto facilmente vendável para fábricas de polpa moldada, papelão ou papel sanitário).

Sem necessidade de um tratamento primário na ETE (substituindo-o por um simples gradeamento/peneiramento do efluente bruto), seriam plenamente justificados investimentos setoriais para recuperação e prevenção da contaminação com sólidos suspensos ao efluente bruto geral a ser tratado. Esse efluente de baixos sólidos suspensos poderia seguir diretamente ao tratamento biológico, mesmo que acompanhado de algumas fibrilas celulósicas e alguma argila fina. Elas até mesmo ajudariam na floculação e decantação posterior do lodo biológico.



Recuperador de sólidos suspensos de efluentes – Fonte: Meri Paper

Além de baixos teores de sólidos suspensos, é desejável que o efluente bruto a ser tratado tenha baixas concentrações e cargas unitárias específicas (kg/tad de celulose) de DBO – Demanda Biológica ou Bioquímica de Oxigênio e DQO – Demanda Química de Oxigênio. As modernas estações de tratamento de efluentes removem muito eficientemente a DBO e a DQO

dos efluentes brutos, com eficiências de 95-99% para DBO e entre 80 a 88% para DQO. Entretanto, elas convertem a DBO e DQO removidas em lodos. A geração de lodo biológico costuma ser entre 0,35 a 0,40 kg de lodo seco por quilograma de DBO removida; ou então de 0,13 a 0,16 kg de lodo seco por quilograma de DQO removida. Há sistemas de tratamento biológico que mostram mais eficiência que outros, tanto na taxa de remoção como na menor geração de lodos, algo a avaliar antes de se decidir por qual sistema biológico adotar. Fica claro que quanto menores as cargas de DBO e DQO a tratar pelas ETE's, menores serão as gerações de lodo biológico, não é mesmo? Mais uma vez, reforçada fica a necessidade de prevenir perdas de material orgânico pelas áreas de operação industrial em nossas fábricas de celulose de mercado.



Prensa desaguadora

Coloco a seguir algumas perguntas para nossa reflexão:

- Porquê então as pessoas prestam tão pouca atenção às perdas de fibras e de material orgânico junto aos efluentes setoriais? Essas perdas vão-se converter em lodos e esses desperdícios vão custar muito caro para a empresa e para o meio ambiente!
- Porquê essas mesmas pessoas prestam tão pouca atenção nas umidades dos resíduos sólidos industriais, entre os quais as dos lodos?
- Porquê tão poucas empresas possuem seus pontos de descarga de lodos ou resíduos sólidos abrigados das águas de chuva?

- Porquê tão pouca atenção se dá ao chorume que se verte dos resíduos e que acaba voltando pelo sistema de prevenção de perdas para novo tratamento na estação de tratamento de efluentes?

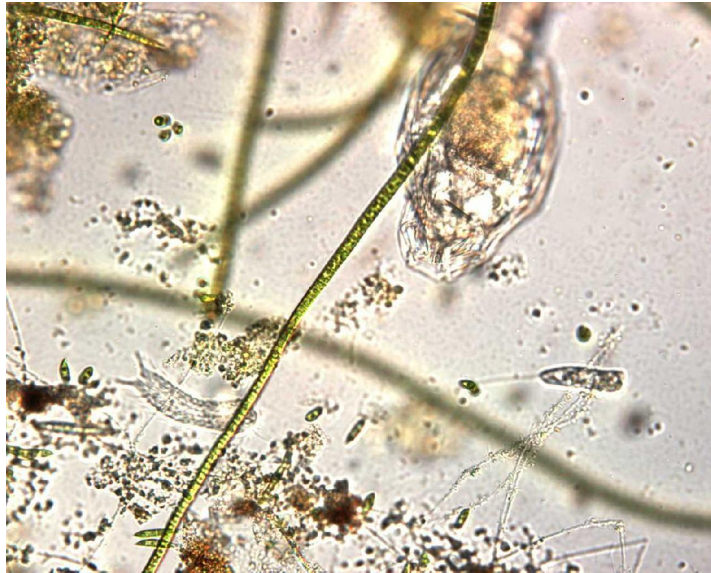
Difícil mesmo de entender essa lógica com as perdas de materiais valiosos e com umidades dos resíduos sólidos em muitas fábricas do setor. Acabamos de ver no caso dos lodos a enormidade que isso representa em toneladas adicionais geradas quando o resíduo está mais úmido ou quando as perdas de cargas de DQO a tratar nos efluentes são maiores. Algumas empresas entretanto preocupam-se com isso, muito salutar. Devo mencionar que existem empresas que buscam intensamente a ecoeficiência em suas operações, e esses tópicos relativos aos lodos são muito impactantes para uma maior ou menor ecoeficiência.



Descarga de lodo em caçamba hermética e em local abrigado das chuvas na Cambará Produtos Florestais

Deve ficar também claro que a maioria das empresas não possuem tratamento terciário, o qual só é solicitado em situações especiais com cursos d'água de baixos fluxos ou para áreas de turismo e lazer, etc. Quando temos lodo terciário, a geração de lodos é significativamente maior. Além disso, o efluente tratado com sulfato de alumínio tende a apresentar inclusive uma certa ecotoxicidade crônica devido ao residual desse químico de alumínio floculante. Por essas razões, o tratamento terciário vem sendo destinado apenas a fábricas em situações de localização ambiental delicada. Há estudos sendo realizados para utilização de outros floculantes químicos (PAC – policloreto de alumínio, compostos tanínicos, polímeros, etc.). Nas poucas fábricas que usam o tratamento terciário com floculação com sulfato

de alumínio, uma parte significativa do peso seco do lodo é o material de sulfato de alumínio que se agrega ao lodo terciário.



Lodo biológico mostrando flocos, fibras e algo de sua microbiologia

Há muitas formas para se gerenciar o destino dos lodos primários, secundários e terciários. Algumas empresas os recuperam dentro da própria fábrica, queimando-os em caldeira de biomassa. Essa queima precisa ser autorizada pelo órgão de licenciamento ambiental. Com a mistura com serragem da madeira, o lodo deixa de ser pastoso e toma um aspecto mais denso, como grumos com maior consistência. Isso favorece a queima, pois a serragem é mais seca e de adequado poder de queima.

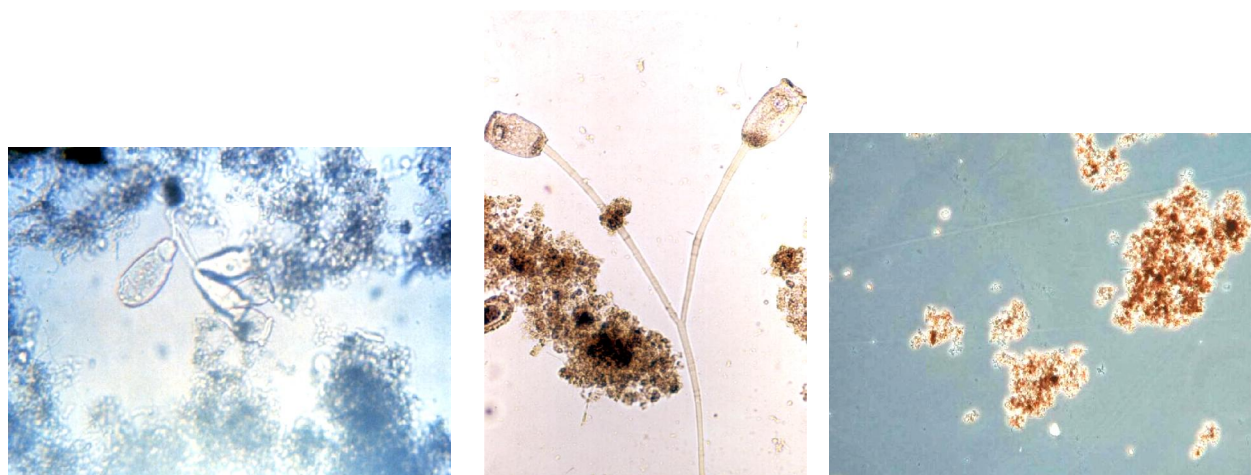
Apesar das centenas de milhares de artigos publicados na literatura mundial sobre os lodos de fabricação da celulose e papel, a disponibilidade de tabelas detalhadas de suas composições químicas é escassa. Os resultados mais completos estão em algumas poucas publicações de empresas brasileiras, como as da ex-Riocell (atual Celulose Riograndense), ex-Bahia Sul (atual Suzano) e ex-VCP (atual Fibria). Procurei condensar em uma tabela alguns desses dados para que possam entender o que eles contêm em sua constituição. É claro, que análises mais completas são eventualmente demandadas pelos órgão de fiscalização e controle.

Vejamos então comparativamente alguns tipos de lodos da fabricação de celulose de mercado contendo algo de lodos da fabricação de papel como é o caso de todas as empresas relatadas acima, que possuem fabricação complementar menor de papel em relação à de celulose de mercado.

Características de lodos de fabricação de celulose e papel – Base seca

Análise e constituição química	Lodo misturado primário, secundário e terciário (ex-Riocell, 1989-2006)	Lodo primário e secundário (ex-VCP, 2002)	Lodo primário (ex-Bahia Sul, 1999)
Matéria orgânica, %	70 - 75	82	52,2
Cinzas, %	25 - 30	18	47,8
pH	6 - 6,2	8,3	10,2
Nitrogênio total, %	2,2 - 2,5	0,8	0,001
Fósforo, %	0,5 - 0,7	0,3	0,14
Sódio, %	0,45 - 0,5	0,23	0,33
Potássio, %	0,08 - 0,12	0,06	0,1
Cálcio, %	0,2 - 0,4	1,8	0,38
Magnésio, %	0,04 - 0,1	0,15	0,57
Enxofre, %	0,05 - 0,3	0,22	-
Ferro, %	0,95 - 1,1	0,75	0,23
Sílica, %	-	-	0,3
Alumínio, %	4 - 6	-	-
Relação C/N	18/1	56	-
Zinco, ppm	160 - 180	46	-
Manganês, ppm	70 - 80	98	142

Cobre, ppm	15 - 20	22	15
Chumbo, ppm	10 - 14	-	36,9
Níquel, ppm	40 - 50	-	20
Cádmio, ppm	0,4 - 0,5	-	1
Cromo, ppm	50 - 55	-	9



Lodos – um pouco mais de sua maravilhosa biologia em meio aquoso

Uma outra boa referência de avaliações químicas de uma grande quantidade de lodos de fábricas de celulose e papel foi apresentada por Webb, em 1994 e cujo trabalho técnico "Sludge disposal: the unregulated loophole" pode ser obtido para leitura na seção de referências da literatura.

Características de lodos de fabricação de celulose e papel – Base seca (Webb, 1994)

Parâmetro do lodo	Tipo de Lodo		
	Primário	Secundário	Destintamento
Cinzas , %	5 - 65	5 - 30	20 - 70
Carbono, %	20 - 50	35 - 50	15 - 40
Nitrogênio, %	0.1 - 0.7	1 - 8	0.1 - 0.4
Enxofre, %	0.1 - 1.4	0.1 - 0.9	0.1 - 0.2
Fósforo, %	0.03 - 0.1	0.3 - 1.2	-
Potássio, %	0.02 - 0.6	0.2 - 0.6	-
Alumínio, %	0.2 - 7.4	0.5 - 3.3	0.01 - 3.8
Ferro, %	0.1 - 0.5	0.1 - 0.4	0.01 - 0.2
Cádmio, ppm (mg/kg)	0.01 - 1	0.4 - 12	0.1 - 7.7
Cobre, ppm (mg/kg)	7 - 56	64 - 520	8 - 920
Cromo, ppm (mg/kg)	6 - 34	10 - 30	20 - 110
Chumbo, ppm (mg/kg)	4 - 80	17 - 95	1 - 880
Mercúrio ppm (mg/kg)	<0.01 - 0.08	<0.01 - 1	0.02 - 2.4
Níquel ppm (mg/kg)	5 - 58	6 - 93	1 - 250
Zinco ppm (mg/kg)	30 - 230	140 - 930	0.2 - 150

Em relação aos conteúdos de dioxinas e furanos, já comentamos anteriormente na seção sobre toxicologia dos lodos, mas os valores encontrados em fábricas de celulose branqueada que possuem seqüências de branqueamento isentas de cloro elementar são perfeitamente compatíveis com as mais severas restrições internacionais.

=====

LODOS DA FABRICAÇÃO DO PAPEL



Lodo da fabricação do papel, rico em fibras celulósicas e cargas minerais (caulim e/ou carbonato de cálcio)

Sob a denominação genérica de lodos do papel encontramos uma enorme variedade de tipos de lodos, por isso mesmo, com constituições químicas e aspectos físicos diferentes. Também a sua geração é variável, conforme tenhamos fábricas de papel não branqueado, papel branqueado, papelão, cartão ou papel reciclado. No caso da reciclagem do papel estão as maiores variações de geração, pois o lodo vai depender do tipo de aparas sendo consumidas como matéria-prima e das exigências do papel para sua limpeza. Portanto, em fábricas de papéis reciclados podemos ter geração de lodo que variam entre 20 a 400 quilogramas de lodo seco por tonelada de papel vendável produzido. Essa enorme variação é facilmente explicada. Ela dependerá das tecnologias empregadas na reciclagem e limpeza das fibras secundárias, bem como do tipo de produto sendo fabricado. No caso da fabricação de papelão ondulado ou do papel interno do cartão de diversas camadas, a geração de lodo é baixa, pois praticamente todo o material é aproveitado e pouco é descartado como impurezas. Perdem-se algumas fibras e fibrilas, inevitáveis de serem retidas pelos flutadores ou peneiras de recuperação de fibras. Mesmo as cargas minerais presentes nas aparas são recuperadas na fabricação de muitos tipos de papéis, cartões e papelões, sem problemas em suas especificações.

Lodos de fabricação de papel constituem, por isso mesmo, em uma espécie de fauna variada - há lodos e lodos, alguns com alta ou baixa drenabilidade e desaguamento, outros com maiores ou menores conteúdos de compostos que causam ecotoxicidade, etc. Existem lodos ricos em carbonato de cálcio, outros ricos em caulim, há lodos que possuem residuais de íons metálicos usados nas tintas de impressão, etc., etc. Alguns lodos são

muito fibrosos podendo até mesmo merecer um uso para produtos de polpa moldada. Os lodos ricos em carbonato de cálcio ou caulim são muito bem-vindos na fabricação de cerâmicas ou na agricultura (pelo carbonato de cálcio).

As gerações desses lodos em geral variam nos seguintes níveis:

Lodo da reciclagem de papéis de embalagem: 5 a 50 kg secas por tonelada de papel produzido

Lodo de reciclagem na fabricação de papel "tissue" ou sanitário de cor branca: 100 a 400 kg secas por tonelada de papel produzido

Lodo de papel branco em fábricas integradas (sem fábrica de celulose): 15 a 30 kg secas por tonelada de papel produzido

No caso de fábricas integradas de papéis, quer sejam brancos ou marrons (embalagens), os lodos finais resultam da mistura dos efluentes das fábricas de celulose e de papel. Como os efluentes se juntam para o tratamento, os lodos primários, secundários e eventualmente terciários contém proporcionalmente os contaminantes separados ou transformados de cada fabricação. Quando a produção envolve a manufatura de papel rico em cargas (caulim, carbonato de cálcio, dióxido de titânio) há algum favorecimento no desaguamento e prensagem do lodo. Por essa razão, as fábricas integradas valorizam, e também de forma "ingênua", o fato de que as perdas minerais facilitam o desaguamento dos lodos. Mais um desperdício e um erro conceitual importante a penalizar a ecoeficiência.

Já no caso da reciclagem de aparas de papel para fabricação de papéis sanitários brancos (higiênico, toalhas, guardanapos, etc.), as cargas minerais e impurezas das aparas de papel precisam ser eliminadas da massa, uma vez que depreciam a qualidade do papel sanitário produzido. Em geral, aparas de papel branco possuem entre 10 a 20% de seu peso como cargas minerais, além de outros contaminantes como tintas de impressão, amidos, colas, tintas de revestimento, etc. O resultado prático é que a separação desses contaminantes acaba conduzindo a teores elevadíssimos de lodo a ser descartado. Imaginem que 300 quilogramas de lodo seco, quando a 30% de consistência, vão representar praticamente uma tonelada de lodo úmido por tonelada de papel produzido. Essas fantásticas gerações de resíduos sólidos precisam ser muito bem gerenciadas. Obviamente, a pior de todas as soluções gerenciais seria dispor os mesmos em aterros industriais. A cada tonelada de papel fabricado no dia, estaríamos usando um grande volume de aterro. Em pouco tempo estaria faltando espaço para se dispor do lodo e mais área de aterro se faria necessária.

Em muitas fábricas de papel a tendência é se ter altas gerações de lodos primários, resultante da perda de fibras e fibrilas e das cargas minerais. Entretanto, temos também a geração de lodos secundários biológicos, já que temos muita carga orgânica dissolvida e exigente de oxigênio, tais como amidos, colas, resinas, etc.

Fábricas de papel não integradas ou de papel reciclado em geral não possuem tratamento terciário, pois a cor de seus efluentes não é exagerada, lembra um líquido branco aleitado.



Efluente de fábrica de papel reciclado após separação de lodo primário fibroso
Destinos prováveis: tratamento secundário ou uso como água recuperada

Esses efluentes em geral não trazem corantes expressivos (exceto na fabricação de papéis coloridos). Quando temos tintas de cor intensa para essa produção, a gestão de lodos e de efluentes varia e deve ser muito bem feita e monitorada.

O fechamento de circuitos é uma alternativa válida, destinando os lodos primários para algum tipo de papel de especificações mais frouxas (como papéis miolo de papelão ou cartão). Em situações extremas, há necessidade de se flocular os efluentes, gerando-se um lodo químico nesse processo.

As fábricas integradas de papel que fabricam celulose kraft branqueada podem ter eventualmente restrições fortes da legislação, que exijam o tratamento terciário de floculação química para remoção de cor e de DQO de seus efluentes finais. Nesses casos, aumenta em muito a geração específica de lodo por tonelada de papel fabricado.

Um outro tipo de lodo, talvez o mais problemático dos lodos da fabricação do papel é o conhecido "lodo do destintamento" do papel. Esse

tipo de lodo também se forma em quantidades significativas nas fábricas de “polpa de mercado destintada” (“deinked market pulp”, ou DIP).

O lodo do destintamento pode ser tirado separadamente durante a operação de destintamento, ou às vezes, misturado com o restante do lodo, o que faz a “diluição” de seus constituintes perigosos (tintas de impressão pigmentadas). Portanto, ele pode ser removido concentrado e puro ou diluído e misturado. Os principais contaminantes que a legislação se preocupa são as tintas ricas em metais pesados e os tensoativos usados para flotação dos pigmentos de tintas. Há os que acreditam que a diluição dos contaminantes perigosos e legislados facilite a disposição do mesmo por facilitar seu enquadramento legal. Eu já acredito que “diluição não é solução para a poluição”. Se temos um problema, devemos ter a solução para ele e não mascará-lo. Tintas de impressão possuem pigmentos ricos em metais pesados, mas essas tintas estão sendo produzidas cada vez com menor impacto ambiental. Logo, os lodos de destintamento não precisam ser enterrados para sempre, eles precisam ser avaliados e se encontrar soluções seguras de reciclagem dos mesmos.

Em função dessa variedade de situações, é absolutamente óbvio que cada fábrica de papel deverá fazer uma avaliação criteriosa de seus lodos para encontrar a melhor maneira de se dispor ou reciclar os mesmos. A primeira das alternativas de ação é verificar o que se pode reduzir em termos de geração, avaliando as operações industriais. Dentre as opções estão: recuperação adicional de fibras e cargas minerais, maior efetividade no desaguamento de lodo, possibilidade de se usar lodo para queimar nas caldeiras da fábrica, etc. A seguir, e só depois de realizar esse dever de casa, é que se devem buscar alternativas de reciclagem externa. As estratégias de gestão externa desses lodos devem estar sempre focadas na região (comunidade, negócios locais e meio ambiente) bem como à legislação ambiental aplicável à empresa.

Mais uma vez, reforço a imperiosa necessidade de se quantificar muito bem cada tipo e componentes dos lodos. Isso facilitará o desenvolvimento de alternativas para se minimizar a geração e encontrar formas de se reciclá-los. Também nos ajuda a oferecer alternativas ambientalmente corretas e socialmente justas. Qualquer forma sábia de reciclagem não vai resolver o problema de custos incorridos na gestão dos lodos, mas vai ajudar a minimizar os mesmos. A reciclagem pode não agregar “lucro operacional nessa operação”, mas vai ajudar a melhorar os resultados da empresa, pela redução dos custos demandados pelos resíduos sólidos.

Os lodos do papel são, na sua maior proporção, lodos primários, misturados ou não a lodos secundários e a lodos de destintamento. Eles são mais facilmente desaguados que os lodos da fabricação da celulose, pois possuem mais fibras e minerais. Em geral, possuem teores de cinzas entre

15 a 40% e o teor de umidade está na faixa de 25 a 55%. Os teores de cinzas e de umidade são seus principais parâmetros de especificação para processos de reciclagem.

As características mais marcantes dos lodos da fabricação do papel são:

- Alto teor de umidade;
- Alto teor de cinzas;
- Alto teor de fibras de celulose e fibrilas;
- Baixo poder calorífico;
- Granulometria variável;
- Eventual presença de íons metálicos derivados dos pigmentos de tintas de impressão e/ou pigmentos orgânicos de corantes de papéis coloridos;
- Presença de íons cloretos, sulfetos, cálcio, magnésio, sódio, etc.

Em geral, em função da presença de cloretos e outros resíduos da fabricação da celulose, esses lodos, quando queimados, podem gerar a formação de PCDDs e PCDFs (dioxinas e furanos) nos gases de combustão, bem como nas cinzas das caldeiras. O monitoramento e controle são vitais, bem como a comparação dos resultados encontrados com limites impostos pelas legislações e recomendações internacionais para essas situações. Como já mencionado anteriormente, mesmo assim, os valores desses poluentes têm sido encontrados em menores concentrações do que os que se geram na queima de lodos de tratamento de esgotos municipais (biossólidos ou "municipal sewage sludges").

A grande vantagem da reciclagem interna ou externa é a redução da área de disposição e estocagem desses lodos como resíduos. Eles podem se converter em matérias-primas em diversos processos industriais e agrícolas. Por exemplo, quando um lodo do papel é queimado na caldeira de força, ele seca e se converte em cinzas. Mesmo que essas cinzas representem entre 15 a 35% do peso seco do lodo, a redução de peso é significativa. No caso de se queimar lodo do papel equivalente a uma tonelada seca e a 50% de sólidos, estaremos enviando à caldeira 2 toneladas úmidas, para se tirar uma quantidade de cinzas residuais entre 150 a 350 kg. Essas cinzas da queima de lodos podem sofrer processos interessantes de reciclagem, conforme sua composição seja caulim, carbonato e óxidos de cálcio, etc. São reduções expressivas e maiores facilidades de gestão, concordam?

Em geral, o poder calorífico desses lodos é baixo, entre 4 a 10 GJ/tonelada tal qual. Isso às vezes obriga a se queimar o lodo junto a outros combustíveis mais energéticos, fazendo assim parte da matriz de caldeiras a lenha, biomassa, gás, óleo, etc.

Quanto mais instável a qualidade do lodo, maiores os problemas de emissões de gases poluentes nessas caldeiras, pois eles desestabilizarão a

queima nas fornalhas, promovendo aumento na formação de gases como SOx; NOx, monóxido de carbono, etc. Também podem emitir metais pesados do lodo de destintamento e dioxinas e furanos pelos gases de combustão.

As cinzas da queima de lodos do papel se apresentam como pós acinzentados e secos, com umidade entre 4 a 8%. São cinzas leves e na forma de pó fino. Possuem em sua composição carbonatos, silicatos e óxidos de cálcio, alumínio, sódio e magnésio, bem como quartzo, sílica, argilominerais, etc.

O pó é leve e de fina granulometria, praticamente 100% do material passa por peneira de 1 mm de abertura. Isso acontece sempre que as cinzas não tomam contato com água, pois essa ajuda a formar pedras maiores. Caso sejam estocadas ao ar livre e tomem chuva ou se banhem de águas de processo, formam-se pedras grandes que podem inviabilizar alguns de seus usos como matérias-primas industriais.

As cinzas da combustão do lodo de papel podem ser usadas em:

- Agricultura, devido a presença de carbonato de cálcio e nutrientes (fertilizantes e corretivos da acidez do solo);
- Produção de argamassa na construção civil;
- Produção de blocos de concreto e cimento;
- Produção de tijolos;
- Pavimentação de rodovias de terra ou para bases de pavimentações, atuando em substituição à cal ;
- Cobertura e capeamento de áreas degradadas e aterros;
- Blocos e peças de cerâmica;
- Blocos compósitos usados para forros, divisórias, etc.
- Etc.

As cinzas podem também sofrer algum tipo de pré-beneficiamento, pois são facilmente segregadas em relação às suas partículas de diferentes densidades e tamanhos. Com isso, podem-se ter melhores produtos para venda, até mesmo material para se fabricar cerâmicas brancas.

Para muitos desses usos, que possuem etapas de secagem e/ou queima de material orgânico (como nas cimentarias e na fabricação de materiais cerâmicos e tijolos) o próprio lodo do papel “in natura” pode ser usado com sucesso. Tudo vai depender do grau de umidade e da constituição das cinzas. Quanto mais seco e rico em cinzas for o lodo, melhor ele será para muitos de seus usos e aptidões.

Reforçando quais seriam os usos, agora para os lodos do papel:

- Aplicação sobre solos, com ou sem incorporação por máquinas tipo aração/gradagem;
- Revestimento de áreas como aterro;

- Produção de cimento ou de clínquer, pela adição no próprio forno da cimenteira;
- Produção de inúmeros tipos de artefatos de cerâmica, cimento, concreto, peças para construção civil, tijolos, compósitos que necessitem de fibras, etc., etc.

Para algumas aplicações, o teor de matéria orgânica residual traz problemas e por isso, devem até mesmo serem separadas na fábrica geradora do lodo (por exemplo, recuperação das fibras). No caso de peças cerâmicas e de tijolos, a matéria orgânica aumenta a porosidade e reduz a resistência das peças. Já para a utilização na fabricação de telhas e produtos de fibrocimento, as fibras, em especial as fibras longas, são muito apreciadas. Elas ajudam a melhorar a resistência desses produtos, reduzindo as micro-fissuras e promovem a melhor coesão das peças.



Blocos de cimento com alta carga de lodo de papel

O lodo de papel ou sua cinza, quando ricos em carbonato de cálcio ou em cal, são matérias-primas interessantes para a fabricação do clínquer (ou pré-cimento), bem como do cimento Portland. O clínquer é um material na forma de pedras, que resulta da queima a cerca de 1500 °C de uma mistura de calcário, argila e componentes minerais como sílica, óxidos de ferro, magnésio e alumina. O cimento Portland é obtido pela moagem do clínquer e tem sua qualidade ajustada com pó de gesso e/ou cinzas pozolâmicas, dando assim origem aos conhecidos cimentos Portland pozolâmicos.

O material carbonatado exigido tanto para a fabricação do clínquer como do próprio cimento Portland, pode ser parcialmente suprido pelo

carbonato de cálcio dos lodos do papel ou por suas cinzas. Também a caulinita do caulim colabora e tem papel importante na fabricação do clínquer e do cimento Portland, no ajuste de suas propriedades.

Deve ficar claro que não existem regras fixas ou mágicas para todas essas utilizações. Cada lodo poderá performar melhor ou pior, dependendo tanto de sua constituição e propriedades, como das tecnologias e especificações dos usuários.

Lembrar ainda que o lodo do papel e/ou a sua cinza devem ser uniformes, sem variações extremas de características, algumas tão simples como a sua umidade e/ou teor de cinzas.

Como conclusão: na reciclagem, os lodos do papel deixam de serem resíduos e passam ao *status* de matérias-primas. Essas, por sua vez, exigem especificações a serem cumpridas e operações de manuseios, estocagens, não mais como resíduos, mas como subprodutos do nosso processo. Por essa razão, insisto sempre em se especificar e exigir controles dos resíduos sólidos. Também recomendo insistentemente que esses materiais passem a ter depósitos especiais, pavimentados e cobertos.



Caçamba hermética para estoque intermediário de cinzas de combustão



Depósitos cobertos para lodos e cinzas

Na maioria das reciclagens de lodos de papel, eles entram em processos industriais em proporções que variam entre 1 a 25% na mistura de matérias-primas dos clientes. Em geral, substituem, devido à vantagem do preço, alguma matéria-prima similar, mas mais cara.

Na aplicação agrícola desses lodos do papel, as concentrações de metais pesados e de dioxinas e furanos devem ser conhecidas. As taxas de aplicação devem ser tais que não ultrapassem a capacidade dos solos agrícolas e das pastagens em absorver e reter esses poluentes. Existem legislações específicas para isso, tanto no Brasil, como em muitos países onde o meio ambiente é tratado com respeito.

=====

BIOSSÓLIDOS APLICADOS EM FLORESTAS PLANTADAS



Biossólidos e sua reciclagem
Fonte: Serrat et al., 2009

Lodos de esgotos sanitários e domésticos, também conhecidos como biossólidos, são resíduos sólidos que são gerados nas estações de tratamento de esgotos das municipalidades. São produtos relativamente complexos e com poucos potenciais de reciclagem, exceto como fonte de nutrientes na agricultura ou na incineração como combustível de baixa energia calorífica.

A incineração tem sido uma prática consagrada em alguns países como Japão, USA e outros países na Europa. Entretanto, são muito úmidos e geradores de diversos tipos de emissões aéreas e que são problemáticas devido à queima de material rico em umidade, nitrogênio, enxofre e cloretos. Os gases emitidos que causam preocupações são SO_x; NO_x, PCBs, halogenados clorados e dioxinas/furanos.

A utilização agrícola de biossólidos tem sido incentivada em muitos países, inclusive no Brasil. Já existe até mesmo normas e legislações para essa prática no Brasil definidas por parte do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, isso desde 2006.

A partir dessa iniciativa brasileira de promover a utilização dos biossólidos para fins agrícolas e florestais, diversas instituições de pesquisa passaram a estudar a matéria. Minimizados os problemas de patogenicidade e atratividade a vetores de doenças, bem como a exalação de mau odor, fica então a missão de reduzir os riscos de seu manuseio e também o seu conteúdo em compostos químicos que possam oferecer riscos à saúde das pessoas e à vida silvestre. Isso tanto do biossólido em si, como através de seus percolados e lixiviados.

Os biossólidos apresentam excelentes potenciais de reciclagem na agricultura e na silvicultura. Isso pela sua enorme riqueza em matéria orgânica parcialmente humificada, bem como por seus teores altos de

nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, enxofre, micro-nutrientes, etc.

A adoção de especificações de níveis máximos de agentes patogênicos, práticas de higienização, bem como de desenvolvimento de indicadores biológicos de biomonitoramento têm feito com que a silvicultura passasse a ser uma alternativa válida para esse reciclagem. Diversos pesquisadores vêm realizando pesquisas nesse tema, destacando a equipe do meu estimado amigo Dr. Fábio Poggiani, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo.

Essas pesquisas visam, dentre outros objetivos, os seguintes principais:

- Confirmação do potencial para uso de biossólidos na silvicultura;
- Desenvolvimento de melhores práticas e indicadores operacionais;
- Seleção de dosagens mais adequadas em função das condições do meio ambiente, adequação com as práticas silviculturais e especificidades das florestas;
- Segurança de que os produtos da floresta manterão ou terão sua qualidade melhorada;
- Manutenção ou adequação das demais práticas florestais, para que não sejam afetadas pelo uso dos biossólidos;
- Desenvolvimento de procedimentos de manuseio e aplicação, respeitando tanto as pessoas envolvidas, como as comunidades próximas, devido ao manuseio e transporte, percolação, lixiviação, emissão de odores, etc.;
- Desenvolvimento de protocolos de aplicações conforme as condições locais e as regras para sua utilização;
- Desenvolvimento de especificações mínimas necessárias para essa prática. Quanto pior for a qualidade desses biossólidos, maiores as restrições aplicáveis e menos indicada será a utilização.
- Estimativas de custos e relações custos/benefícios;
- Estimativas de raios de distância para uso de forma viável e econômica, levando em conta as unidades de produção e de uso do biossólido;
- Desenvolvimento de mecanismos para comunicação das conquistas técnicas e científicas de forma a dar credibilidade ao processo, mantendo clareza e transparência às partes interessadas;
- Etc.

Inúmeras outras equipes acadêmicas, quer da área florestal, como agropecuária, estão empenhadas em pesquisar esse resíduo, cada vez mais abundante em função do aumento populacional e das exigências de se tratar efluentes domésticos.

O objetivo não deve ser apenas o de encontrar um uso na agricultura, pecuária ou silvicultura, mas de se garantir também muita segurança nos produtos gerados e na própria aplicação.

Biossólidos ainda são coisas recentes no Brasil. Nem todas as cidades possuem sistema de coleta e tratamento de esgotos sanitários. Algumas não o geram por ter outros sistemas de tratamento que geram pouco lodo, como grandes lagoas de estabilização e sistemas anaeróbios. De qualquer forma, a geração de biossólidos por cidadão das nossas municipalidades é enorme. Estima-se que cada cidadão tem a capacidade de gerar entre 35 a 50 gramas de biossólido base seca por dia de sua vida. Cidades com populações de 100.000 habitantes gerariam então entre 3,5 a 5 toneladas de lodos base seca por dia, ou equivalentes a 14 a 20 toneladas a 25% de consistência. Uma interessante oferta de material para usos na região!

Logo, isso tudo conduz à necessidade de se encontrar usos seguros para os biossólidos e nada mais óbvio do que as florestas plantadas, que têm ciclo longo e capaz de mineralizar e decompor esse material ao longo da rotação. Como os fertilizantes minerais estão se tornando caros e escassos, isso é mais um fator alavancador para esse uso. Entretanto, teremos que disciplinar e regulamentar essa prática muito bem, começando com a geração, as especificações qualitativas, os indicadores biológicos, bem como os limites máximos de aplicação ao solo para não comprometer os mesmos e os lençóis subterrâneos de água. Isso sem esquecer da patogenicidade sempre latente e perigosa, que deve ser evitada. A compostagem é uma forma de solucionar esse problema, lembrem-se de que já falamos sobre isso?

Dentre os parâmetros mais importantes a regular os biossólidos para uso agrícola e florestal teremos: coliformes termo-tolerantes, ovos de helmintos, presença de *Salmonellas*, presença de vírus patogênicos, bem como as concentrações de íons minerais como arsênio, bário, chumbo, cobre, mercúrio, molibdênio, níquel, zinco, etc. Isso tudo está já legislado e nas referências de nossa literatura há trabalhos que mostram os níveis limites.

Em função dessas características, é possível se classificar os biossólidos em:

Classe A - ou lodos limpos – onde não ocorre a presença de patógenos, a atratividade a vetores de doenças é baixa e tampouco são altas as concentrações de íons problema. Esses lodos classe A são lodos higienizados ou compostados e que apresentam muita segurança para uso agrícola e florestal.

Entretanto, a maioria dos lodos não são classe A, ou são classe B, ou sequer se enquadram como B devido alta presença de patógenos e metais pesados.

Classe B ou lodos contaminados, são lodos de pior qualidade sanitária, mas ainda dentro de limites definidos por legislação.

No caso de se usar lodos contaminados, todo cuidado é pouco e se isso não for feito, pode-se levar a problemas que acabarão com a credibilidade da prática. Imaginem hortaliças ou frutas que venham a se contaminar pelo uso desses lodos - seria um enorme desastre a acabar com a imagem dos bio sólidos para uso agrícola.

Por essa razão, as grandes expectativas que existem para o uso dos bio sólidos na silvicultura de florestas plantadas, sempre exigentes em fertilização para aceleração do crescimento. Os produtos da floresta plantada são colhidos alguns anos depois das aplicações, sendo essas feitas em geral na época de plantio ou em idades ainda jovens da floresta. Após diversos anos no solo, esse bio sólido deve-se degradar, pela riqueza em nitrogênio que possui. Aos 6 a 8 anos, no caso de eucaliptos, o carbono orgânico que sobrou deve estar na forma de húmus no solo. Mesmo que exista algum residual de contaminação nos produtos das florestas, por exemplo, sua madeira, essas madeiras em geral vão a processos que eliminarão esses patógenos, tais como as fábricas de celulose e papel, painéis de madeira, etc. Apenas a absorção de metais pesados pelas árvores e sua ciclagem na Natureza é que precisará de acompanhamento mais de perto.

De qualquer forma, não se vislumbram maiores problemas no uso de bio sólidos em florestas plantadas de eucaliptos, meu amigo Dr. Fábio Poggiani e seus estudantes de pós-graduação têm pesquisado e acompanhado isso com muito entusiasmo. Há grandes expectativas no setor para esse tipo de utilização; maquinários estão sendo desenvolvidos e já temos muitos casos práticos testados e até mesmo implantados em empresas florestais. Os resultados experimentais têm mostrado grande potencial técnico e científico para os bio sólidos, substituindo em parte os fertilizantes minerais. Resta solucionar o problema dos custos.

Os cientistas ainda argumentam que existem fatores na biologia dos solos que não podem ser medidos apenas pelos teores de nutrientes dos bio sólidos. Costumam citar os aumentos de húmus e de carbono orgânico nos solos, bem como da micro-vida mais abundante. Também afirmam e comprovam que a serapilheira ou manta orgânica é bem mais abundante no caso de florestas adubadas com bio sólidos. Isso se deve à maior formação de folhas e de sua queda para ciclagem nas florestas.

Cuidados especiais devem ser tomados pelos nossos técnicos florestais, pois essa prática não pode ser mal executada e os bio sólidos devem atender especificações acordadas com os fornecedores. Se isso não ocorrer, estaremos mais uma vez usando a floresta apenas para dispor resíduos, o que não é nada bom para os ecossistemas e para nós próprios seres humanos. Por exemplo, os principais impactos que teríamos seriam: patogenicidade do bio sólido, contaminação do solo e dos recursos hídricos com nitratos e metais pesados, odor desagradável, etc. Outro fator que pode

gerar problemas é a competição do biossólido por nutrientes do solo, em razão da necessidade de sua degradação microbiológica.

As dosagens de aplicação de biossólidos em florestas de eucalipto têm variado entre 5 a 40 toneladas de biossólido base seca por hectare. Esse material tem sido aplicado sem compostagem alguma, mas poderia também ser feita com biossólido compostado. Acontece que encareceria o processo, daí a tendência de se deixar que o solo faça o papel de decompor e estabilizar o lodo. A aplicação costuma ser feita por "landspreading" sobre o solo, nas entrelinhas ou no sulco de plantio.

Existem muitas áreas disponíveis para essa prática no Brasil, que tem uma área florestal baseada em plantações de algo como 6,5 milhões de hectares e em ritmo crescente. A cada ano o país está sempre plantando algo como 500.000 a 800.000 hectares de florestas, entre novos plantios e reformas de plantios que foram colhidos. Os biossólidos podem ser aplicados em outros tipos de florestas plantadas, não apenas nas de eucaliptos. Também podem ser aplicados tanto no plantio, como em idades um pouco mais avançadas, quando as raízes estiverem colonizando melhor as entrelinhas. Há ainda os que sugerem a aplicação logo após um desbaste, pois facilita a entrada de máquinas na floresta, e a floresta estará ávida por crescer. Com entrada de nutrientes, ela responderá muito bem com uma nova aceleração de produtividade.

Alguns efeitos mais notados e comprovados pelas aplicações de biossólidos em florestas plantadas estão relatados a seguir:

- Aumento da biomassa total produzida pelo povoamento florestal, o que se traduz em aumento de produtividade. Diversas pesquisas têm mostrado que os biossólidos são mais efetivos que os adubos minerais para mesmas adições de nutrientes em termos de N/P/K.
- Aumento da biomassa e qualidade do sub-bosque (há os que entendam que aumenta a mato-competição);
- Aumento da manta orgânica e do teor de seus nutrientes;
- Aumento da concentração foliar de micro-nutrientes tais como zinco e manganês, e ainda também de nitrogênio e de fósforo;
- Aumento significativo da quantidade de raízes finas superficiais nas camadas de cima do solo, acelerando assim a ciclagem de nutrientes para as plantas da floresta;
- Aumento da atividade fotossintética no ambiente florestal como um todo;

- Aumento dos custos de aplicação de nutrientes, pois são manuseadas enormes quantidades de lodos, o que requer máquinas, pessoas, combustíveis, etc.;
- Exigência de que a fonte produtora de bio sólidos esteja muito próxima da floresta onde esse lodo será aplicado, para viabilizar custos. Isso é particularmente válido para as aplicações líquidas ou de tortas úmidas. Já no caso de bio sólidos granulados e semi-secos, isso não é fator tão limitante.
- Efeitos pequenos na qualidade da madeira; porém, com a aceleração do crescimento, a densidade básica tende a ser menor, mas sua variabilidade também é relatada como sendo menor. Quando essa aceleração de crescimento é feita com fertilizantes minerais, o mesmo tipo de situação ocorrerá.
- Efeitos muito pequenos na composição química média da madeira, em relação a experimentos com adubação mineral.

São importantes os programas de nutrição mineral de florestas associando fertilizantes minerais com bio sólidos. Existem diversas propostas de fertilizantes organominerais, criando misturas semi-secas ou granuladas de adubos, onde os bio sólidos podem representar entre 30 a 70% do peso seco da mistura. Isso leva a fertilizantes que variam entre características mais orgânicos até mais minerais.

Em solos arenosos, mais sujeitos à lavagem e perda dos fertilizantes minerais solúveis, a composição bio sólido + adubo mineral é muito potencial. Os bio sólidos podem ser excelentes coadjuvantes, agindo na retenção e no oferecimento mais controlado dos nutrientes às raízes das plantas. Essa combinação também ajuda a minimizar os problemas de competição por nutrientes entre plantas e bio sólidos. Mesmo que o bio sólido necessite o uso desses nutrientes do fertilizante mineral para ser decomposto, em pouco tempo mais ele mesmo estará fornecendo esses nutrientes para as raízes das plantas. Em resumo, em um sistema bem balanceado, as coisas se conservam, apenas se modificam .

Mesmo nos casos de competição por nutrientes, a participação do nitrogênio na composição do bio sólido e as quantidades aplicadas de lodos são tão grandes que sobrarão também nitrogênio para as plantas da floresta em crescimento. Depois, em fase posterior, o nitrogênio desses microrganismos acabará mineralizado e indo também alimentar as plantas da floresta, em uma interessante ciclagem.

A atividade microbiológica do solo é intensa no uso de bio sólidos. O bio sólido não deve por isso ficar em contato com as raízes das mudas de árvores recém plantadas. Recomenda-se então, nas aplicações nos sulcos de

plantio, que a muda seja afastada um pouco em relação ao local onde está o biofossolido. Recomenda-se ainda que o biofossolido seja aplicado umas 3 semanas antes do plantio florestal, para se gerenciar isso muito bem. Nesse momento, o biofossolido estará já bem firme no solo, facilitando as operações silviculturais. Deve-se evitar o contato das raízes com o biofossolido, ficou claro? Quando elas crescerem e alcançarem o ponto onde o biofossolido está, ele já estará mais estabilizado e não criará mais problemas; pelo contrário, oferecerá vantagens às plantas.

Conforme o nitrogênio orgânico do lodo e dos microrganismos do solo vai sendo mineralizado, ele vai-se tornando disponível às plantas da floresta – isso ocorre em médio prazo, daí a grande vantagem das florestas – elas podem esperar e as culturas anuais nem tanto.



Máquina para aspersão de biofossolido líquido no solo em florestas de mais idade

Tudo o que falamos até agora nessa seção são coisas absolutamente novas para os técnicos florestais, que não estão ainda acostumados com as tecnologias da agricultura orgânica. Afinal, eles sempre usaram fertilizantes minerais com suas fórmulas de N/P/K e dosagens pequenas por cova de planta ou no sulco de plantio. O mundo orgânico é outro e estamos de alguma forma caminhando para ele - ou para um misto dele com o que temos hoje. Existe toda uma nova ciência para a silvicultura brasileira. Muitas pesquisas são necessárias para esclarecer coisas vitais, tais como: melhor época e local de aplicação; forma de usar o biofossolido; novas interações microbiológicas nas florestas como as que hoje temos com micorrizas e rizóbios, etc., etc.

Felizes são os pesquisadores das florestas plantadas. Vão poder estudar caminhos mais favoráveis para se atingir a sustentabilidade. Entretanto, para alguns mais ingênuos ou para os mal intencionados eu digo e repito: **"A FLORESTA PLANTADA NÃO É DEPÓSITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, TAMPOUCO DE LIXOS DE PROCESSOS INDUSTRIAIS"**. Ela merece todo nosso respeito e por isso mesmo, todo esse processo de

adubação orgânica com lodos deve ser visto como um processo de ganhar-ganha total. Ganhar o meio ambiente, ganhar a floresta plantada e ganhar o ser humano, que terá novas formas de converter seus lixos e resíduos em produtos úteis e necessários. Só assim, nós silvicultores receberemos o apoio das partes interessadas da Sociedade, entre as quais eu me incluo. Nos casos de coisas mal feitas e que venham a atrapalhar esse processo, eu serei o primeiro a reclamar. Ao mesmo tempo que incentivo esses tipos de reciclagens, peço respeito, senão ouvirão o meu grito através do que escrevo e falo.

Acredito muito nas tecnologias de reciclagem dos rejeitos da Sociedade, entre os quais os biossólidos. Lembro-me muito bem de uma reportagem do Sr. Ioram Sheps que foi publicada na revista Globo Rural de 1988. Ela tinha o título **"O lixo volta a ser árvore"**. Pioneiramente, há mais de 20 anos atrás, existiam técnicos florestais e agrônomos empenhados nisso, como foi mostrado pelo jornalista. Esse tema já era debatido, testado e aplicado por engenheiros daquela época, como Edson Balloni, Ernesto Go Koike , José Lutzenberger, e por nossa equipe entusiasmada pelos lodos na "sempre viva Riocell". Um privilégio ter sido e estar sendo parte desse processo de enorme sustentabilidade, pioneirismo, estudo científico e coragem.



Biossólido sendo compostado a céu aberto



Plantação florestal de eucalipto aos 2 anos de idade e com mostras de residuais da aplicação de biossólidos na sulco da linha de plantio

Para completar esse tema de biossólidos, gostaria de lhes apresentar um quadro com dados gerais da composição aproximada desses resíduos, que permitirão a vocês encontrar as razões para o interesse despertado em relação aos nutrientes de importância agro-florestal que possuem.

Composição química aproximada de biossólidos de esgotos de tratamento de efluentes domésticos no Brasil

Análise e constituição química	Faixa de variação (Base peso seco)
pH	6 - 11
Matéria orgânica, %	50 - 60
Cinzas, %	15 - 40
Umidade, %	65 - 80
Nitrogênio total, %	1,5 - 3,5
Fósforo, %	0,9 - 3,5
Sódio, %	0,05 - 0,08
Potássio, %	0,15 - 0,30

Cálcio, %	0,8 – 3,0
Magnésio, %	0,2 – 0,5
Enxofre, %	0,5 – 0,8
Ferro, %	2 – 4
Matéria orgânica, %	50 - 60
Carbono orgânico, %	25 - 35
Relação C/N	8 - 20
Zinco, ppm	150 - 1000
Manganês, ppm	70 - 200
Cobre, ppm	200 - 1000
Chumbo, ppm	80 - 300
Níquel, ppm	100 - 250
Cádmio, ppm	150 – 300
Cromo, ppm	100 - 300

=====

INCINERAÇÃO E QUEIMA DE LODOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA



Queima de lodos deve ser ambientalmente segura e gerar energia útil positiva

A queima ou incineração de lodos é uma prática operacional que remonta a épocas passadas não tão distantes, quando os lodos da produção do papel eram simplesmente dispostos a céu aberto no pátio dos fundos das fábricas. Ali eles eram colocados em uma espécie de leito de secagem ao sol e perdiam umidade. Chegava um ponto que se tornavam combustíveis e alguém aparecia para atear fogo nos mesmos. Com isso, seu volume se reduzia e se ganhava mais espaço para novas disposições de lodos. A queima ao ar livre gerava fumaça poluente, de mau odor em função dos gases de nitrogênio e enxofre que possuíam, rica em organoclorados persistentes e às vezes em metais pesados nas cinzas que voavam pelas redondezas. Um desastre ambiental daquelas épocas.

Por sorte e por juízo, as coisas mudaram. As exigências legais mais restritivas, a fiscalização maior, a pressão das populações vizinhas e a própria disposição corporativa das empresas, agora com certificações ambientais sérias e de credibilidade, fizeram as coisas mudar. Isso tem levado a outras formas de incineração de lodos, mais sofisticadas e menos poluentes.

Hoje, em todo o mundo, a combustão de lodos constitui-se em uma prática comum de gestão de resíduos sólidos industriais e municipais. Ela tem como finalidade principal reduzir o volume desses lixos e resíduos. Sua segunda e importante missão é aproveitar algum calor útil dos lodos, já que eles contêm na maioria das vezes significativos teores de carbono orgânico.

Um lodo desaguado a 40% de consistência em uma fábrica de celulose de mercado tem um peso úmido de 2,5 toneladas por cada tonelada absolutamente seca de material. Acontece que sua densidade aparente com

o desaguamento fica abaixo de 1 tonelada por metro cúbico. Esse valor 1 é mais condizente para lodos a baixíssima consistência (entre 1,5 a 3%, quando mais lembram água do que lodo. Agora, depois de desaguados, os grumos de lodos se dispõem de forma não compactada, até mesmo livres, deixando vazios para baixar a densidade. Dessa forma, a densidade aparente de um lodo varia entre 0,65 a 0,8 toneladas úmidas por metro cúbico. Vamos admitir que para a continuidade de nossos cálculos, que o valor de 0,8 t/m³ se aplica a nosso caso-exemplo. Aquele mesmo lodo que possuía 2,5 toneladas úmidas por tonelada seca, ocupará um volume de 3,125 m³, no espaço onde estiver (depósitos, pilhas e aterros). Vejam que problemão que tem nosso amigo fabricante de celulose e papel. Para uma tonelada de sólidos secos de lodo tem que manejar 2,5 toneladas de material grumoso que ocupa um volume de 3,125 m³. Se admitirmos um teor de cinzas de 30% base seca, esse lodo teria 0,3 toneladas de cinzas secas nesses mesmos 3,125 m³ ou 2,5 toneladas úmidas. A queima desse lodo elimina a matéria orgânica e a umidade, deixando apenas a cinza como resíduo, com algum teor de umidade e carbono residual não queimado. Portanto, o que eram 2,5 toneladas se convertem em cerca de 0,3 a 0,35 toneladas de cinzas. Entretanto, as cinzas são um pó leve e de densidade aparente entre 0,65 a 0,85 toneladas por metro cúbico. Assim, nossos 3,125 m³ de lodo úmido se converteriam em algo entre 0,4 a 0,5 m³ de cinzas secas. Uma grande economia de espaço e de peso para quem tem que lidar com resíduos sólidos. Como presente à fábrica, o lodo deixaria seus GigaJoules ou calorias. Essa energia pode ser muita ou pouca, dependendo da umidade e do teor de matéria orgânica de cada lodo.

A incineração, combustão ou queima controlada dos lodos é algo que já se pratica há alguns anos. Inicialmente, ela foi orientada para a queima de biossólidos ou lodos gerados no tratamento de esgotos municipais. Em países como Japão e pequenos países da Europa, com pouca área territorial, aterros ocupam espaços valiosos e escassos. Logo, a incineração desses lodos se tornou coisa comum e muita tecnologia se desenvolveu para isso. Esse processo foi bastante impactado pela descoberta do fato de que podiam-se gerar dioxinas e furanos em níveis detectáveis, além de metais pesados nas cinzas volantes. Com isso, novas exigências surgiram para os incineradores cativos de lodos e para suas fumaças. As tecnologias foram aperfeiçoadas, os modelos de formação de dioxinas e furanos foram esclarecidos e as caldeiras se tornaram aptas a queimar lodos em condições seguras. Entretanto, durante algum tempo, os lodos não puderam ser queimados, até mesmo por decisões legais, sendo que o uso agrícola dos mesmos avançou bastante.

Com isso, hoje, as práticas mais comuns para redução dos volumes de lodos nas fábricas e com adequados níveis de sustentabilidade são: combustão e compostagem para destinação agrícola. As cinzas da combustão também podem ter destinação agrícola, pois são ricas em nutrientes, mas

precisam de análises e controle, pois também podem conter poluentes persistentes e perigosos.

Nessa seção, discorreremos sobre a queima ou combustão e logo mais, em outra seção, falaremos sobre a compostagem e utilização agrícola dos lodos.



Lodo misturado à biomassa como fonte de combustíveis à caldeiras de força

Como os lodos da fabricação de celulose e papel são ricos em material orgânico, entre cerca de 40 a 90%, eles possuem interessante potencial combustível a ser aproveitado. Entretanto, eles possuem muita umidade, o que pode inclusive levar a valores negativos de poder calorífico. Isso ocorre quando se necessita de mais energia do que o lodo possui para se promover a secagem e incineração completa do mesmo.

Em geral, as empresas do setor têm duas posturas em relação à queima de lodo:

- Vendem o lodo que participa em processos de queima em outras unidades industriais, como na produção de clínquer, cimento, tijolos e produtos cerâmicos. Entretanto, nesses casos, o lodo nem sempre é comprado ou utilizado por seu valor combustível, mas sim por outros requisitos qualitativos.
- Queimam o lodo em suas próprias instalações industriais.

Raramente podem ser encontrados casos onde o lodo é comercializado como combustível em processos de reciclagem externa. Não é o caso dos biossólidos municipais, que são gerados em grandes quantidades

nas grandes metrópoles e para os quais se buscam clientes que tenham interesse em usar os mesmos em processos de geração de energia. Uma das tecnologias mais comuns para os biossólidos é promover sua secagem e converter os mesmos em péletes ou briquetes adensados. Nessa operação, agrega-se poder calorífico ao produto, bem como se melhora seu aspecto, odor, facilidades de manuseio, etc. Tem sido algo comum e muito apropriado em países do hemisfério norte, que possuem alta demanda de combustíveis devido aos rigorosos invernos.

Vamos colocar a seguir alguns exemplos simples de lodos que podem ser eventualmente gerados em fábricas de celulose e/ou papel e comparar seu potencial energético útil. A função básica desse quadro é apontar de forma visível e clara em como a umidade dos lodos e seu teor de cinzas impactam sobre o poder calorífico útil dos mesmos.



Lodos e biomassas em pilha de biocombustíveis para alimentação de caldeira de força

Quadro exemplo mostrando valores calculados de poder calorífico base **uma tonelada de lodo úmido**

Tipo de Lodo ⇒	Lodo Biológico Secundário			Lodo Terciário Químico Floculação com $Al_2(SO_4)_3$			Lodo de Destintamento Papel Reciclado		
Teor de Cinzas, %	12			35			50		
Teor de Matéria Orgânica, %	88			65			50		
Teor Carbono Orgânico, % base seca	53			39			30		
Consistência, %	30	50	85	30	50	85	30	50	85
Umidade, %	70	50	15	70	50	15	70	50	15
Peso seco de 1 ton. lodo úmido, toneladas	0,3	0,5	0,85	0,3	0,5	0,85	0,3	0,5	0,85
Peso seco de matéria orgânica por tonelada de lodo úmido, em toneladas	0,265	0,44	0,75	0,195	0,325	0,55	0,15	0,25	0,42
Poder calorífico superior do lodo base seca, GJ/t seca	16	16	16	12	12	12	9	9	9
Poder calorífico inferior útil, GJ/tonelada úmida	2,8	6,7	13,1	1,5	4,5	9,7	0,6	3,0	7,1



Lodos combustíveis

Fica claro do quadro recém mostrado que os teores de cinzas e umidade têm direta ação sobre o teor energético dos lodos. Esses dois fatores são críticos, mas não são os únicos a se avaliar e controlar quando se quiser usar lodos para gerar energia nas fábricas.

São os seguintes os tópicos que merecerão cuidados e atenção:

- Em que tipo de incinerador ou caldeira o lodo estará sendo queimado: incinerador cativo, caldeira de queima de biomassa ou caldeira de recuperação de licor preto kraft?
- Qual o tipo tecnológico dessas caldeiras: caldeira de grelha, caldeira de leito fluidizado, forno de cal ou de cimento, etc.?
- Quais as implicações diretas dessa queima sobre o equipamento de combustão: erosão dos tubos devido cinzas, incrustações e formação de pedras, vitrificação devido presença de sílica, irregularidades na queima, apagamento da camada em combustão, dificuldades no controle do ar de combustão e dos gases de combustão, etc. ?
- Quais as implicações referentes à poluição gerada para as vizinhanças: cinzas volantes como particulados, gases de mau odor, gases de potencial tóxico, SO_x, NO_x, CO, PCDD/PCDF, metais pesados presentes nas cinzas volantes, etc. ?
- Quais as implicações que essa queima vai ocasionar para outros setores da fábrica: aumento de formação de dregs, dificuldades na filtração da lama de cal, perda de eficiência e reatividade da cal queimada, perda de eficiência térmica no forno de cal, incrustações em precipitadores eletrostáticos e economizadores de água, aumento da formação de cinzas decorrentes da combustão, etc.
- Etc., etc.

Cabe também aos técnicos as decisões de adequar a mistura de combustíveis às adições de lodo. Caso estejamos queimando o lodo em caldeiras de biomassa, há que se ter uma mistura adequada da biomassa com o lodo. Há empresas que iniciam essa mistura previamente, agregando serragem de madeira para a etapa de desaguentamento do lodo. Quando a queima se dá em caldeiras de recuperação, é importante se encontrar a receita mais correta entre lodo e licor preto para minimizar os problemas decorrentes da conseqüente elevação de cloretos, fósforo, magnésio e potássio no sistema de recuperação. Lembrem-se que os lodos contêm umidade que não é água e sim efluentes, em geral ricos em fósforo, potássio, cloretos, etc.

Basicamente existem 4 opções para a queima de lodos em fábricas de celulose e papel, dentro de suas próprias instalações fabris:

- Incineração em queimador cativo:

Realizada em incineradores de pequeno porte para queima de lodo úmido (com uso de combustível auxiliar) ou lodo previamente secado (o mais comum). Esses queimadores são desenhados para operar com lodo, portanto são muito eficazes.

- Queima em forno de cal:

Raramente é realizada pois tem grande potencial para prejudicar a decantação e filtração da lama de cal, aumentando assim o seu teor de umidade. Só tem algum potencial para lodos secundários biológicos de fábricas de celulose não branqueada, portanto, com baixos teores de cloretos.

- Queima em caldeiras de biomassa:

Nesse caso, a queima está sempre relacionada à mistura do lodo em uma receita de combustíveis de biomassa, com ou sem a complementação de combustível fóssil mais poderoso (óleo combustível ou gás natural). Esse último caso se usa em casos de biomassas e lodos muito úmidos e tem a finalidade de melhorar a combustão e se gerar mais energia térmica.

É vital que o lodo seja uniformemente misturado aos demais combustíveis como cascas de árvores, cavacos de madeira, etc. A mistura deve ser a mais uniforme possível em suas características fundamentais, como teores de umidade e cinzas.

Algumas empresas misturam todos os seus lodos antes de desaguar os mesmos. Portanto, já tentam uniformizar o lodo combustível bem cedo nas operações. Quando existir lodo terciário, esse lodo pode piorar muito o poder calorífico do lodo geral misturado, mas também é opção a considerar, desde que o desaguamento seja eficiente. Outras empresas destinam apenas os lodos primário e secundário para queima como biomassa. A queima de lodos muito ricos em cinzas (acima de 50%) gerará baixa energia térmica e problemas de incrustações nas caldeiras, só sendo recomendável quando a empresa for obrigada pelo legislador/controlador ambiental, ou quando quiser eliminar o lodo para evitar aterrá-lo. Caso contrário, é tecnicamente desaconselhado.

Existem empresas de maior qualidade técnica que procuram trabalhar a especificação de seus lodos, convertendo os mesmos o mais próximo possível de um bom combustível. Elas fazem controle das perdas de minerais no processo, segregam e corrigem os fluxos de efluentes contaminados com terra e areia, etc., etc. Também colocam especificações de umidade aos lodos e os abrigam em locais cobertos após terem sido desaguidos. Há inclusive as que usam secadores de lodos para aumentar sua eficiência

térmica global na fábrica. Isso é conseguido secando-se os lodos, não usando combustíveis virgens, mas calores residuais que estejam sendo perdidos (como gases quentes e vapores em sobra na empresa).

Como já mencionamos antes, há empresas que misturam pó ou serragem de madeira aos lodos durante a operação de desaguamento. Conseguem melhorar com isso a umidade, o teor de material orgânico e a combustão desse lodo misturado. A proporção de serragem varia caso a caso em função do tipo de lodo sendo preparado para queima. É importante lembrar que quem está na verdade agregando consistência e poder calorífico à mistura é a serragem. O lodo deve contribuir com isso pela melhoria no seu desaguamento, ou seja, a fração lodo deve ter consistência maior quando se usar serragem no desaguamento em relação a quando não se utilizar a mesma. Com um balanço de massa simples isso pode ser calculado.



Lodo de tratamento de efluente misturado à serragem de madeira para melhorar sua qualidade como combustível

- Queima em caldeiras de recuperação do licor kraft:

Essa alternativa pode ser considerada válida apenas para o lodo secundário biológico, com baixos teores de cinzas, argila, areia, fibras, plástico, etc. Qualquer outro lodo, que contenha contaminantes como esses, poderá causar problemas graves na caldeira e prejudicar a operação da fábrica toda. Dentre as opções de queima de lodos, essa pode ser a de maior eficiência térmica, tudo dependendo também da quantidade de água que o lodo levar para o sistema de recuperação. O lodo biológico costuma ser adicionado ao licor preto pouco antes da evaporação do mesmo. Com isso, a

água que o lodo levará será evaporada com todas as vantagens que um sistema de evaporação de múltiplos efeitos oferece. Ao invés de serem consumidas enormes quantidades de energia do próprio lodo para sua secagem nas caldeiras de força, no caso da evaporação, o consumo de energia será muito menor, em função do fator de economia da mesma.

Existem empresas que enviam o lodo da área da ETE na forma de lodo semi-adensado, com consistências entre 2,5 a 3.5% para mistura ao licor preto kraft no setor de recuperação do licor. Outras, preferem desaguar o lodo biológico a 20 – 25% e com isso terão menos água a ser evaporada. Os opções levam em conta investimentos e custos operacionais, mas não tenho dúvidas de que quanto mais água (na verdade, efluente secundário) o lodo levar ao sistema de recuperação kraft, pior será a ecoeficiência e maiores os problemas potenciais.

Vejam um exemplo numérico para um lodo desaguado. Uma tonelada de lodo biológico a 20% de consistência tem 200 kg de matéria seca e 800 kg de água (ou efluente, não se esqueçam...). Essa água para ser aquecida e evaporada em uma caldeira de força exigirá no mínimo cerca de 2,4 GJ. A energia virá do combustível sendo queimado e para piorar as coisas, existe um rendimento e uma eficiência térmica das caldeiras para que essa energia consumida seja ainda maior (entre 85 a 90% de eficiência térmica). Já no caso da água ser evaporada em um sistema múltiplos efeitos que tenha fatores de economia entre 5 e 6, o consumo de vapor virgem será de apenas 125 a 145 kg. O lodo será concentrado para aproximadamente 70% de sólidos junto ao licor preto. Nessa nova consistência demandará apenas 0,8 GJ dos combustíveis no interior da caldeira. Somados aos 0,35 GJ do vapor que exigiu para ser evaporado na evaporação, teremos um valor total de energia de 1,15 GJ, menos da metade do que se exigiu na caldeira de força.

O lodo biológico seco tem poder calorífico bastante similar ao do licor preto kraft, também base seca: entre 14 a 16 GJ/t seca. Portanto, sua mistura ao licor preto teria todas as condições de passar termicamente despercebida no sistema de recuperação kraft. Mas sempre existem senões, não é mesmo? O pior deles são os contaminantes que o lodo biológico carrega, tanto em sua constituição, como na do efluente que leva consigo. Quanto mais úmido for o lodo, mais efluentes ele levará, com seus altos teores de cloretos, magnésio, fósforo e potássio. Não há como evitar que esses íons entrem e sobrecarreguem o sistema de recuperação. Recomenda-se monitorar muito bem isso tudo, tanto nos lodos, efluentes, lama de cal, dregs/grits, cinzas da caldeira, etc. Há quase sempre a necessidade de se aumentar purgas de cinzas da caldeira de recuperação para minimizar efeitos nocivos de entupimentos da caldeira. A frequência de sopragens e lavagens das caldeiras também deverá aumentar. O que não pode de forma alguma acontecer são efeitos perversos de paradas da caldeira e de perda de eficiência térmica do forno de cal e da caldeira de recuperação devido a

esses contaminantes. Se isso ocorrer, todos os pequenos ganhos energéticos da queima do lodo como energia se perderão e deixarão um débito financeiro para a empresa.

Tenho lido e ouvido muitas opiniões contraditórias em relação à queima de lodo biológico em caldeiras de recuperação kraft. Há os apaixonados pela técnica e há os que não podem nem ouvir falar sobre isso, pelos perigos que ela pode representar pela acumulação de cloretos e de potássio no sistema do licor. Em geral, lodos biológicos não são muito desaguados. Eles podem ter entre 20 a 30% de consistência. Vamos fazer agora um pequeno cálculo numérico com 25% de consistência. Um lodo após desaguamento poderá estar então a 25% de consistência e ser misturado ao licor a 15% de sólidos para envio à evaporação. Lodos nessa consistência possuem 75% de licor com as características de efluente secundário, que para a maioria das empresas é o próprio efluente final da ETE. Em fábricas de celulose de eucalipto, com branqueamentos ECF e gerações específicas de efluente de aproximadamente 30 m³/adt de celulose, teremos uma concentração de cloretos no efluente de cerca de 400 ppm (mg/litro). Na fase sólida e seca do lodo biológico isento do efluente, poderemos ter algo como 1.000 mg/kg de cloretos. Portanto, a cada 100 kg de lodo úmido a 25% de consistência, ou então 25 kg secos, teremos cloretos que estarão na fase líquida (30 gramas) e na fase seca do lodo propriamente dito (25 gramas). O total de cloretos somados para essas duas fases do lodo será então 55 gramas por 25 kg de lodos base seca, ou 100 kg de lodo base úmida (teor de cloretos no lodo seria 550 mg/kg de lodo úmido ou 2.200 mg/kg de lodo absolutamente seco).

Admitamos agora que nossa fábrica gere 5 kg de lodo biológico seco por tonelada de celulose seca ao ar. Significa que para cada tonelada de celulose produzida, ela terá a geração de um lodo biológico que terá 20 kg úmidos e nesse lodo+efluente secundário que compõem o lodo biológico teremos 11 gramas de cloretos.

No sistema de recuperação kraft, temos na maioria das fábricas uma relação de sólidos secos no sistema de recuperação de licor que corresponde a 1,40 a 1,50 toneladas por tonelada seca ao ar de polpa branqueada produzida. Em geral, 50% desses sólidos são orgânicos e 50% são cinzas conhecidas como cinzas do precipitador da caldeira de recuperação kraft. Essas cinzas minerais contêm entre 0,3 a 1,5% de cloretos base seu peso seco, conforme o fechamento de circuitos de licor, o tipo de madeira e a localização (fábricas próximas ao mar possuem maiores teores, às vezes de até 3%, ou mesmo mais). Colocando tudo isso agora em base de uma tonelada seca ao ar de polpa, significa que cada tonelada de polpa branca produzida “carrega” cerca de 700 kg de cinzas minerais no sistema de recuperação de licor e nesse peso teremos 3,5 kg de cloretos (para 0,5% de teor de cloretos nas cinzas da caldeira). A injeção de adicionais 11 gramas de cloretos com o lodo biológico, equivalentes a uma tonelada de polpa branqueada seca ao ar, corresponderá a $[11 \text{ g} \times 100 / 3.500 \text{ g}] = 0,31\%$.

Portanto, um valor percentual pequeno de cloretos adicionados pelo lodo biológico, mas que ajuda a acumulação desse elemento não processual no sistema. Entretanto, é um valor bem menor do que do que a madeira introduz diariamente na fábrica (cerca de 600 gramas de cloretos da madeira por tonelada de celulose branqueada produzida – isso para 300 mg/kg de cloretos na madeira de eucalipto).

O mesmo tipo de cálculos pode ser feito para o potássio, magnésio, fósforo, etc.

Cloretos e potássio podem ser extraídos do sistema via modernas tecnologias de purificação das cinzas dessa caldeira de recuperação. Já fósforo e magnésio ainda não, logo as dificuldades na filtração e desaguamento da lama de cal podem surgir após um certo tempo de aplicação dessa operação de queima de lodos.

Os demais elementos presentes na água do lodo e nos próprios sólidos dos mesmos costumam sair via dregs/grits. Como a filtração e adensamento de dregs/grits evoluiu bastante tecnologicamente, isso acaba minimizando o problema dos outros contaminantes menores que entram no sistema de recuperação via lodo biológico. Também, esses resíduos são utilizados na agricultura como corretivos de acidez de solos, logo, eles terão mais nutrientes a oferecer ao solo. Isso discutiremos em um outro capítulo de nosso **Eucalyptus Online Book**.

O impacto desses íons pode ser significativamente minimizado pelo desaguamento mais efetivo do lodo. Esses íons presentes nos efluentes em altas concentrações podem ser muito reduzidos pela maior remoção de água/efluente do lodo pelo aumento da sua consistência no desaguamento. Lembrem-se que efluentes de fábricas de celulose branqueada possuem concentrações de cloretos na ordem de 500 a 1.000 mg/litro. Isso tudo, em lodos muito diluídos vai arrastado sem piedade para o sistema de recuperação.

A lavagem dos lodos com um líquido aquoso praticamente isento de cloretos é uma alternativa interessante, por exemplo, com condensados da própria evaporação, que são ricos em sódio, mas pobres em cloretos, potássio e magnésio. Um sistema de duas a três prensas desaguadoras em série, com lavagem em contracorrente pode substituir efluente rico em cloretos por condensado rico em sódio, sem grandes problemas. Só que o pH do lodo subirá e poderá piorar a remoção de água, demandando uma nova operação para a correção de pH. As coisas não são simples, mas possibilidades existem. Há que se valorar as mesmas sob o enfoque ambiental, econômico e social, com requer todo estudo sobre sustentabilidade.

Nos casos de se querer incorporar o lodo biológico no sistema de recuperação do licor, sugiro avaliações preliminares em laboratório e na planta, para as condições do que a empresa pode oferecer com o seu lodo.

Com isso, poder-se-á trabalhar para minimizar os efeitos negativos através de um projeto melhor elaborado.

Por tudo isso, as alternativas de reciclagem interna de resíduos devem ser muito bem trabalhadas e avaliadas para evitar surpresas desagradáveis e custos, e até mesmo problemas ambientais, maiores do que os benefícios. Por exemplo, a inclusão de forma inadequada do lodo biológico para queima no sistema de caldeira de recuperação kraft poderá eventualmente causar impactos de custos e problemas técnicos nos seguintes itens estratégicos da empresa:

- Perda definitiva da possibilidade de aproveitar na floresta os nutrientes dos lodos, já que eles serão destruídos na queima, ou sairão nas cinzas da caldeira de recuperação, que não se presta, pelo menos por enquanto, para uso agrícola e florestal;
- Necessidade de energia térmica na evaporação para desidratar o lodo, que será tanto maior quanto menor for a consistência do lodo enviado ao sistema;
- Uso de energia primária do combustível para completar a secagem do lodo na fornalha da caldeira de recuperação;
- Necessidade de se aumentar a purga de cinzas da caldeira de recuperação, em função do aumento de concentração de cloretos e potássio no sistema do licor;
- Necessidade de se aumentar a purga da lama de cal em função do aumento da concentração de íons fósforo e magnésio, que dificultam a filtração e desaguamento dessa lama;
- Aumento das necessidades de paradas do forno de cal e da caldeira de recuperação para limpezas, com eventuais impactos na produção e nos resultados da empresa;
- Eventual necessidade de se reduzir o nível de produção para limpezas da caldeira de recuperação, ainda que em operação;
- Aumento da geração de dregs/grits e conseqüente aumento de necessidades de gerenciamento dessas quantidades adicionais como resíduos na fábrica;
- Etc.

Em contrapartida, a eliminação do lodo biológico como resíduo traz ganhos econômicos na redução dos custos de seu descarte, na energia útil que ele fornecerá na caldeira e nas significativas simplificações operacionais demandantes de mão-de-obra na área de resíduos. São toneladas de resíduos que simplesmente deixarão de ser geradas pelo aproveitamento interno na empresa.

Alternativamente, temos a disposição do lodo biológico na floresta, para agregar qualidade ambiental nos solos e produtividade nas árvores. Escreveremos sobre isso nas seções que se seguirão.

Mudando um pouco agora o foco do que estamos escrevendo, passarei a me referir um pouco sobre a temática ambiental da queima dos lodos. Já mencionamos os riscos ambientais que são as emissões de poluentes perigosos como metais pesados e organoclorados persistentes e perigosos, como as dioxinas e furanos. Quanto pior for a qualidade dos lodos em termos de sua instabilidade química e riqueza em cloretos, maior o potencial dessa geração. Também a presença de metais pesados merece ser avaliada, antes mesmo da decisão de se queimar os lodos. Há muita coisa publicada na literatura e procurei colocar uma série de referências para a leitura de vocês na seção das bibliografias. Sugerimos uma leitura atenta das condições colocadas pelos documentos emanados da Convenção de Estocolmo de 2001 para os POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes. Também recomendamos a leitura do *Toolkit* da UNEP – United Nations Environmental Programme para emissões de dioxinas e furanos em sistemas de combustão, publicação de 2005 em sua mais recente versão no momento.

Lembrem-se que a emissão de dioxinas e furanos está muito associada à presença de íons cloreto ligados à matéria orgânica, ou disponíveis no material que faz parte da matriz do lodo (como os cloretos presentes no efluente que acompanha o lodo). Um tratamento do lodo com cal hidratada seguido de lavagem pode remover muito desse cloreto (inclusive do cloreto organicamente adsorvido), reduzindo em muito os riscos de emissões de POPs. Enfim, remover cloretos parece ser vital para a queima dos lodos do setor de celulose e papel, em especial dos lodos de fábricas de celulose branqueada.

Fica aqui minha recomendação para que se façam os ensaios de lodos, tanto na sua fração sólida, como na fração aquosa extraível, para os seguintes potenciais poluentes e íons problemáticos: cloretos, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, cromo, chumbo, mercúrio, cobre, zinco, níquel, cádmio, cromo, arsênio, manganês, cobalto, e outros mais já mencionados anteriormente e que são legislados pela legislação brasileira e internacional. Com isso, fica mais fácil se desenhar um projeto de combustão mais seguro, minimizando-se os riscos de emissões aéreas.

Durante a queima, é muito importante se monitorar os gases de exaustão da combustão para monóxido de carbono, gás carbônico e oxigênio residual, bem como o teor de carbono orgânico nas cinzas volantes. Tudo

isso com a finalidade de otimizar a queima do lodo na caldeira. Toda vez que tivermos altos teores de monóxido de carbono temos indicações de queima incompleta e de temperaturas possivelmente inadequadas na fornalha. Essas situações anormais favorecem a formação de dioxinas e furanos. As dioxinas e furanos também podem estar presentes nas cinzas volantes e nas cinzas de fundo de fornalha.

As tecnologias de última geração dão emissões muito baixas de PCDD/PCDF: entre 0,4 a 4 microgramas de equivalentes tóxicos totais por tonelada de lodo seco queimado. Entretanto, para caldeiras mais antigas e de qualidade tecnológica ultrapassada, bem como operando sobrecarregadas, os valores poderão ser muito maiores.

As legislações ambientais para unidades de combustão queimando lodos costumam aceitar até cerca de 30 a 50 μg de TTEQ nos gases de exaustão por tonelada de lodo seco queimado e entre 200 a 300 μg de TTEQ por tonelada de lodo seco queimado nas cinzas volantes. Com esses valores atendidos, as cinzas possuem destinação agro-florestal segura, podendo ser aplicadas sem sustos em florestas plantadas como fertilizantes. Veremos isso em outros capítulos de nosso livro virtual, quando falarmos sobre resíduos sólidos minerais gerados pelo setor de celulose e papel.

As cinzas de caldeiras de biomassa de leito fluidizado, quando possuem queima de lodo conjugada, podem ter entre 10 a 40 nanogramas de TTEQ de PCDD/PCDF por quilograma de cinzas secas (1 ng/kg = 1 $\mu\text{g}/\text{t}$ = 1 pg/g = 1 ppt).

Entretanto, a maioria das caldeiras de força baseadas em biomassa energética não são da tecnologia de leito fluidizado, e tampouco possuem queima regular e estabilizada. Nessas situações, o teor de PCDD/PCDF em TTEQ pode atingir entre 30 a 3.000 ng/kg de cinzas secas volantes ou cinzas de fundo. As legislações internacionais para uso agrícola de cinzas de caldeiras aceitam valores de TTEQ até 3.000 ng/kg, o que equivale a 3 ppb - partes por bilhão). Acima desses valores a sugestão é que se otimize a queima para reduzir esses valores; caso contrário passarão a ocorrer restrições e necessidade de monitoramento maior para seu uso na agricultura.

Outra forma de se legislar esses valores de PCDD/PCDF é pela quantidade de energia disponibilizada pelos combustíveis queimados. Há legislações que aceitam valores nos gases de exaustão entre 50 a 500 μg de TTEQ/TJ (terajoule) de biomassa úmida queimada. Nas cinzas volantes, as especificações estão entre 15 a 30 μg de TTEQ/TJ de biomassa queimada.



Caldeira de biomassa queimando uma diversidade de biocombustíveis

Fonte: Cambará S/A



COMPOSTAGEM DE LODOS



Fonte: VIDA Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico

Os lodos das fábricas de celulose e papel são materiais relativamente ricos em carbono orgânico, em função da presença de material orgânico na constituição da maioria dos tipos desses lodos. Em alguns casos, como nos lodos de papel, temos não apenas carbono orgânico, mas também carbono na forma de carbonatos, que são integrantes da constituição de cargas minerais usadas na fabricação de alguns papéis. O lodo da reciclagem do papel também é rico em carbonatos inorgânicos, e isso precisa ser bem entendido, já que ambos os tipos de carbono têm comportamentos e funções agrícolas diferentes.

Os teores de carbono orgânico em geral variam entre 20 a 50% do peso seco dos lodos, qualificando a vocação dos mesmos para processos de compostagem de resíduos.

A matéria orgânica presente nos lodos tem diversas origens e conforme essa origem o seu teor de nitrogênio varia, o que acaba fornecendo relações C-Orgânico/N também variadas. Quando a matéria orgânica é fundamentalmente de origem microbiológica, como nos lodos biológicos secundários, o teor de nitrogênio nesses lodos chega a atingir valores entre 1,5 a 2,5%. Isso conduz a relações C/N baixas e interessantes, entre 15 a 40. Já quando o lodo tem muitas fibras celulósicas e moléculas floculadas de lignina, essa relação C/N aumenta e atinge valores entre 60 a 100.

Tanto o teor de matéria orgânica, como a relação C/N qualificam e especificam a potencialidade de um lodo para o processo de compostagem.

A compostagem é um processo microbiológico de vital importância para melhorar a qualidade dos lodos. Ela tem a capacidade de higienizar os lodos e de reduzir suas características de patogenicidade e ecotoxicidade. Ela tem facilidade para eliminar microrganismos causadores de doenças (vírus, bactérias, fungos) e também destroi ou modifica muitas substâncias orgânicas (fenóis, organoclorados, etc.) potencialmente problemáticas devido à sua toxicidade. Lodos compostados são produtos estabilizados, com baixos teores de patógenos e agentes causadores de doenças em humanos e animais. Também possuem reduzido efeito ecotoxicológico sobre organismos, desde microrganismos até organismos mais evoluídos na cadeia alimentar.

Entretanto, a missão básica da compostagem não é apenas melhorar as qualidades de sanidade dos lodos e resíduos orgânicos, mas também de oferecer a possibilidade de se produzirem fertilizantes orgânicos úteis e efetivos para a agricultura, silvicultura e pecuária.

Compostos orgânicos são produtos derivados da compostagem, com:

- Altos teores de matéria orgânica (por exemplo: acima de 25% para compostos classe B e acima de 45%, para os compostos orgânicos de melhor qualidade e classe A – mas isso varia de país a país);
- Baixa relação C/N (entre 10 a 20);
- Alta proporção de compostos quase humificados e que têm o papel de acelerar o crescimento e o metabolismo de plantas que estejam usufruindo de suas virtudes;
- Sanidade e estabilidade biológica;
- Ausência de patogenicidade;
- Etc.

Considero a compostagem de resíduos como uma das melhores bênçãos tecnológicas que o setor dispõe para tratar seus resíduos sólidos. Cabe aos lodos desempenhar o papel de matérias-primas para essa conversão, já que são ricos em carbono e às vezes em nitrogênio, elementos essenciais para uma boa compostagem.

Apesar do bom potencial da maioria dos lodos, há alguns que apresentam dificuldades para a compostagem. Isso pode ser devido ou ao excesso de umidade (lodos terciários químicos), ao baixo teor de carbono orgânico (lodo da reciclagem de papel) ou ao baixo teor de nutrientes como potássio, fósforo, cálcio, etc. (lodos muito ricos em fibras celulósicas e em lignina).

Os lodos muito úmidos (umidade maior que 80%) e difíceis de desaguar apresentam-se mais como soluções líquidas do que como material em forma de grumos. Como deixam pouca porosidade na sua estrutura, pouca quantidade de ar fica disponível para a compostagem aeróbia. São portanto mais indicados para outro tipo de compostagem, a anaeróbia, que ocorre sem a participação de oxigênio.

Na compostagem aeróbia os microrganismos obtêm sua energia pela respiração, degradando compostos orgânicos por reações de oxidação com oxigênio. Eles se alimentam dos lodos e com isso convertem a matéria orgânica dos mesmos em corpos de microrganismos, ao mesmo tempo que deixam fragmentos de matéria orgânica degradada. Esses vão sendo re-degradados até se atingir um estágio de estabilidade a esse ataque, quando se diz que se obteve o húmus. Já na compostagem anaeróbia, os organismos obtêm sua energia não pela respiração com oxigênio, mas por reações de “queima” de compostos por oxi-redução. Na fragmentação química da matéria orgânica do lodo por via anaeróbia são geradas quantidades expressivas de metano e de gás sulfídrico. Quando a empresa está interessada em avaliar suas “pegadas de carbono” (“carbon footprints”), esse metano gerado na compostagem anaeróbia é muito perverso, já que o metano é um dos gases mais problemáticos causadores do efeito estufa (cerca de 21 vezes mais danoso que o próprio gás carbônico, o conhecido CO₂). Nesses casos, a empresa pode inclusive pleitear recursos financeiros oriundos dos mercados de carbono para construção de reatores biológicos anaeróbios para aproveitamento desse biogás (CH₄ – metano) em seus processos de combustão. Trata-se de uma excelente oportunidade de modernização tecnológica com base em aspectos tipicamente ambientais.

Hoje, nossa Sociedade valoriza cada vez mais as práticas sustentáveis, as coisas naturais e o verde. O uso de compostos orgânicos pela agricultura tem crescido exatamente por essas razões, e de forma exponencial. Além disso, a conversão de resíduos industriais como os lodos em compostos orgânicos fertilizantes permite a redução do lixo e dos aterros sanitários e industriais no planeta.

Entretanto, nem todo resíduo compostado pode ser denominado de “composto orgânico”. Existem legislações e especificações do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para esse enquadramento. A maior dificuldade em nosso setor está em se atingir o teor mínimo de matéria orgânica, já que os lodos possuem cinzas minerais que atrapalham o atingimento das especificações de carbono e matéria orgânica. Isso não tem sido problema, pois os lodos compostados com outros resíduos (dregs/grits, cinzas de caldeiras de biomassa, etc.) têm sido comercializados como terra vegetal fortalecida ou enriquecida. O termo fortalecida origina-se exatamente do fato de que os lodos das fábricas de celulose e papel não costumam ser compostados isoladamente. Para aumentar o teor de nutrientes, e com isso acelerar a velocidade da compostagem, os lodos costumam ser misturados com outros resíduos da fabricação da celulose e papel e que são ricos em potássio, cálcio, magnésio, micro-nutrientes, etc. Os resíduos que mais são efetivos para isso já mencionamos: dregs/grits, cinzas da combustão da biomassa e também a lama de cal. Outro resíduo que é muito utilizado para ajudar na compostagem aeróbia é a casca de

árvores, residuais nas fábricas no setor de preparação da madeira. Por serem materiais grosseiros, os pedaços de casca suja ajudam a melhorar a aeração nas pilhas de resíduos a compostar. A casca é mais resistente à compostagem, tanto pelo seu conteúdo de compostos como lignina, extrativos poli-fenólicos e súber, como pela sua alta relação C/N. Ao final do processo, o lodo pode já estar quase todo compostado/humificado e existirem ainda muitos pedaços de casca sem compostagem completa. Por isso, é recomendável o peneiramento dos resíduos compostados para remoção de pedras e fragmentos de casca que ainda não tiveram completada a sua decomposição microbiológica. Em casos de se usarem também resíduos orgânicos de altíssimas relações C/N como é o caso de serragem de madeira (que também favorece a aeração), pode-se ajudar a compostagem pela adição de alguma fonte nitrogenada, como a uréia ou até mesmo biossólidos municipais de alguma estação de geração nas proximidades.



Fonte: International Paper do Brasil, Mogi-Guaçu/SP

A compostagem é portanto um processo natural de decomposição acelerada e biológica do material orgânico contido no lodo e/ou resíduos. Esse processo permite converter o lodo degradado em um material estável, sem odor, com mínima patogenicidade e ecotoxicidade e em uma fonte de húmus e de nutrientes. O composto resultante pode ser usado na agricultura extensiva, jardinagem e paisagismo, olericultura, pecuária (pastagens) e na silvicultura (fertilização de florestas plantadas ou mesmo na preparação de substratos para mudas florestais).

A compostagem degrada as moléculas mais longas e complexas da biomassa dos lodos em moléculas mais simples. Os microrganismos que participam desse processo não cobram nada para fazer isso, apenas atenção e cuidados nas condições ideais do processo. Por isso, a compostagem precisa ser acompanhada e monitorada para ser mais efetiva. As condições de ótimo devem ser buscadas para melhores rendimentos, melhores

qualidades no composto produzido e minimização do tempo de retenção nas pilhas de compostagem.

Dentre as variáveis a controlar, as seguintes são as mais importantes:

- Umidade:

O teor de umidade é essencial para o crescimento da vida microbiana, mas não pode ser excessivo. Em compostagem aeróbia costuma-se trabalhar com umidades entre 50 a 60%. Quando se deseja aumentar a mesma, pode-se regar as pilhas com chorumes ou percolados, ao invés de água fresca. Com isso, ajuda-se a enriquecer a micro-fauna e micro-flora da pilha de composto. O teor excessivo de umidade (acima de 65%) começa a impedir a presença de ar, o que favorece ao aparecimento de zonas de anaerobiose, especialmente na parte inferior da pilha. Isso pode ser notado pelo cheiro de metano e de gases de enxofre. A solução é então movimentar a pilha, para aerá-la e também expor essa parte muito úmida para a superfície, para que ela possa secar um pouco.

- Aeração:

Na compostagem aeróbia o fornecimento de ar é fundamental. Nas fases iniciais desse processo biológico, os microrganismos estão a mil, trabalhando e crescendo de forma acelerada. Eles demandam muito oxigênio em seus processos vitais. As melhores maneiras de se controlar a aeração é monitorando a umidade da pilha e pela movimentação da mesma. Existem máquinas compostadeiras ou composteiras especiais para mexer e remexer as pilhas (ou leiras) em compostagem.



Fonte: International Paper do Brasil , Luiz Antonio/SP

- Temperatura:

No início da compostagem aeróbia, a temperatura sobe gradual e rapidamente a valores próximos a 60°C e os organismos que estarão atuando são termófilos (mais adaptados a altas temperaturas). Pouco a pouco (aproximadamente 20 dias), a temperatura começa a cair e os organismos mesófilos começam a trabalhar até que a temperatura se estabilize ao nível da temperatura ambiente. Nesse momento, a atividade microbiológica atingiu o término de seu papel, tornando-se marginal a decomposição. Temperaturas acima de 65°C podem limitar a atividade biológica. Elas podem inclusive subir acima disso, pois existem também reações químicas exotérmicas acontecendo, liberando calor para a pilha. A temperatura e suas variações ajudam a entender o que está acontecendo na pilha. Ela deve ser bem monitorada, pois dá indicações da eventual falta ou excesso de algum componente biológico ou químico. As alterações de temperatura podem ser feitas pela movimentação e revolvimento da pilha ou pelo controle de sua umidade.

- Relação Carbono/Nitrogênio – C/N:

A maioria dos lodos do setor de celulose e papel possui boa relação C/N, como já visto. Quanto mais nitrogênio existir no substrato, maior será a atividade microbiológica, pois os organismos precisam dele para formar suas proteínas, DNA, etc. Entretanto, há que existir “carbono orgânico cru” para ser degradado. Quando existir uma relação C/N muito baixa no lodo cru (por exemplo: 10), há excesso de nitrogênio e pouco carbono, logo esse excesso de nitrogênio começa a ser liberado na forma de amônia (NH₃) para a atmosfera. Os lodos biológicos que possuem muito nitrogênio podem se degradar rápido, mas podem perder parte de sua riqueza em nitrogênio para a atmosfera. Por essa razão, a mistura de lodos é salutar, misturando-se lodos muito ricos em nitrogênio com outros mais ricos em carbono orgânico. Caso se tenham relações C/N muito altas (entre 100 a 150), a falta de nitrogênio limita o crescimento biológico. A compostagem será mais lenta e pode ser acelerada pela injeção de adubo nitrogenado ou de algum percolado rico em nitrogênio. Ao final da compostagem, objetiva-se um material com relação C/N entre 10 a 20.



Estação de compostagem experimental. Fonte: CELCO-Arauco, Valdivia, Chile

- Estrutura e porosidade da pilha de compostagem:

Quando as partículas do material em decomposição são muito pequenas, elas possuem maior área superficial de reação, o que acelera as reações biológicas. Entretanto, elas se compactam facilmente e podem não oferecer espaço para o ar com seu oxigênio. Isso não é nada bom para a compostagem aeróbia.

Costumam ser sugeridas que as pilhas possuam porosidade entre 30 a 40%, e isso pode ser medido pela densidade aparente a granel, que deve estar entre 0,6 a 0,7 g/cm³ ou t/m³.

As partículas muito finas e muito úmidas dos biossólidos e dos lodos terciários químicos podem ser mais complicadas para a compostagem aeróbia. Nesse caso, podem ser misturadas a outros resíduos de partículas mais grosseiras, como já vimos.

- pH:

O pH inicial da compostagem deve estar próximo à neutralidade. Isso pode ser conseguido pela adição de algum outro resíduo, como dregs/grits, lama de cal ou até mesmo cal queimada. Tão logo a atividade microbiológica se intensifica, o pH cai para valores entre 5,5 a 6 pela formação de ácidos orgânicos. Entretanto, como se forma também amoníaco (NH₄⁺), logo o pH sobe novamente para cerca de 7. Temos que manter monitoramento e controle do pH para evitar que ele fuja da faixa ideal para os organismos.

- Uniformidade da mistura: como já dito, a boa mistura evita regiões desuniformes na pilha que se comportariam e compostariam de forma diferente.



Leito de secagem de lodo compostado

Fonte: VIDA Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico

Como já mencionado, é comum se misturar lodos com outros resíduos industriais para favorecer a compostagem. O processo de compostagem demanda enormes áreas por causa da grande geração de resíduos nas fábricas e também pelo tempo de compostagem que varia entre 45 a 120 dias, conforme o tipo de resíduo sendo compostado e as condições oferecidas no processo.

As melhores formas de reduzir áreas de compostagem são:

- a) gerar menos resíduos, otimizando as operações;
- b) acelerar a taxa de conversão do composto, reduzindo o tempo do material nas pilhas.

O otimização da temperatura, umidade, pH e relação C/N ajuda a controlar esse processo, podendo ser útil para acelerar e para determinar o ponto de interromper o processo.

Ao final do processo, peneira-se e ensaca-se ou se empilha a granel o composto para venda ou uso nas florestas da própria empresa. Deve-se evitar interromper o processo de compostagem com o material ainda “verde”, ou seja, com alta relação C/N, por exemplo, acima de 25. Se ele for aplicado no campo agrícola ou na horticultura, acabará competindo por nitrogênio com as culturas a que ele supostamente deveria estar ajudando a

fertilizar. Por essa razão, é muito importante se interromper o processo de compostagem no momento exato, nem antes, nem depois. O composto deve estar pronto e nas condições requeridas pelos usuários.

Diz-se que o lodo ou resíduo estará compostado quando:

- Sua temperatura baixa para a temperatura ambiental;
- A relação C/N atinge valores próximos a 10 – 15 (no máximo 20), o que indica que a fonte de carbono cru está praticamente exaurida;
- O nitrogênio estiver mineralizado, na forma de nitratos e não mais como nitrogênio amoniacal.
- O produto mostrar pouca atratividade a insetos, larvas, etc.;
- O produto mostrar odor característico de composto e não mais tiver odor sulfídrico ou amoniacal;
- Começar a aparecer um crescimento de fungos actinomicetos brancos sobre a pilha compostada, mostrando que a sucessão biológica está iniciando uma nova fase pelo término da degradação microbiológica da matéria orgânica crua que existia originalmente.

Na decomposição da matéria orgânica, os sais minerais e os demais nutrientes presentes ajudam os microrganismos a serem mais rápidos e eficientes. A grande vantagem desse processo é que a biomassa é fragmentada e esses nutrientes se tornam mais acessíveis às plantas. O que estava agarrado na estrutura dos resíduos e da matéria orgânica dos lodos se converte em íons que ficam retidos nos ácidos húmicos e que são facilmente extraíveis. Esse processo é muitas vezes referido como a mineralização da matéria orgânica.

Como o processo é tipicamente microbiológico, a inoculação de microrganismos mais efetivos e desejáveis é recomendada. Isso pode ser feito pelo uso de percolados, lixiviados e mesmo inóculos de compostagens anteriores. Há inclusive inóculos comerciais, ditos como aceleradores da compostagem. É possível também se inocular micorrizas e rizóbios no composto pronto, para melhorar a qualidade microbiológica dos solos onde serão dispostos como adubos.



Fonte: International Paper do Brasil. Luiz Antônio/SP

Os compostos orgânicos ditos como perfeitamente humificados, possuem relação C/N entre 6 a 12, com média próxima a 10. O húmus é rico em substâncias orgânicas como ácidos húmicos e fúlvicos e humina. São substâncias estáveis da matéria orgânica decomposta. Elas retêm nutrientes e os liberam para as plantas. Há os que acreditam que possuem inclusive características hormonais aceleradoras do metabolismo vegetal.

Os ácidos húmicos constituem-se em uma complexa mistura de ácidos orgânicos estabilizados, contendo fragmentos de lignina, carboidratos, extrativos, etc. Eles têm a capacidade de estimular o crescimento vegetal e de reter cátions nutricionais para as plantas. Há muitos casos de sucesso na aplicação foliar agrícola de húmus resultante de compostagens (em cultivo de soja e nas plantas de jardinagem). Esse fertilizante foliar pode ou não estar enriquecido com outros nutrientes. As plantas apreciam e agradecem ao húmus. Mesmo que esse húmus tenha sido produzido a partir de lodos residuais de fábricas industriais, elas não se importam; pelo contrário, retribuem com maior crescimento e produtividade.

O húmus também contribui para o enriquecimento da micro-vida do solo onde adicionado, com seus nutrientes, sua capacidade de reter água e sua própria biologia. Entretanto, as moléculas de húmus são frágeis e são facilmente oxidadas. Aplicar húmus ou compostos humificados em solos nus e descobertos pode significar perdas de suas vantagens, pela sua rápida decomposição e perda de carbono orgânico. Portanto, muita atenção a esse importante detalhe ao aplicar seus compostos nas florestas e na agricultura.

Durante a compostagem, as reações orgânicas e biológicas fazem com que muita da matéria orgânica se perca como gás carbônico. Esse gás se forma pela respiração dos microrganismos e pela degradação da matéria orgânica. Existem também perdas de peso de material com os percolados, pela formação de metano e gases de enxofre, volatilizações, etc. A decomposição da matéria orgânica do lodo na compostagem mostra, por isso mesmo, um rendimento de cerca de 45 a 55%. Entretanto, os lodos não são constituídos apenas de matéria orgânica, eles possuem cinzas que mudam

pouco de peso durante a compostagem. Em função disso, as perdas de peso seco na compostagem de resíduos de fábricas de celulose e papel estão entre 25 a 35%.

Com isso, ocorre uma concentração dos nutrientes minerais, se eles não forem inadvertidamente perdidos em percolados e lixiviados durante a compostagem. Para evitar essas perdas de nutrientes, há que se ter uma boa gestão dos percolados. Então, ao invés das estações de compostagem gerarem efluentes e percolados, elas devem gerar águas de molhagem. A lixiviação pelo perfil do solo pode ser evitada ou minimizada pela compactação do solo, ou até mesmo pela sua pavimentação com concreto. Isso evitará a perda de nutrientes valiosos e também de compostos tóxicos para os solos e para as águas dos solos.



Compactação do solo na área de compostagem
Fonte: International Paper do Brasil. Luiz Antônio/SP

Algo que precisa ser bem cuidado e conhecido são os teores de terra, areia e água que o lodo ou a mistura de resíduos que vai para ser compostada contém. Isso porque em toda pesagem ou análise química que se fizer do composto, esses materiais poderão afetar os resultados, principalmente se muito variados. O próprio acompanhamento do processo de compostagem através das análises de C, N, Ca, P, K, umidade, pH e micro-nutrientes, poderá ficar mais difícil devido a esses “contaminantes” minerais. Também a determinação do rendimento da compostagem é dificultado devido à presença de contaminantes como terra, restos não compostados de casca, pedras, além da dificuldade de se medir adequadamente a umidade da matéria-prima inicial e do composto.

Muitas vezes, o composto ainda “verde” e não pronto é secado pelo fabricante de húmus utilizando-se de leitos de secagem. Com a secagem, o material perde o cheiro e dá a falsa impressão de ser húmus pronto. Entretanto, basta receber adição de água e encontrar condições de ar e de nutrientes, que ele volta a se decompor. Nessas condições esse material ainda “verde” pode causar mais prejuízos do que benefícios às plantas. O mesmo ocorre quando o húmus, mesmo pronto, não é peneirado e

apresenta ainda pedaços de casca ou outros resíduos orgânicos ainda em fase parcial de decomposição.



Vermicompostagem de lodos da fabricação de celulose

Os lodos da fabricação de celulose e papel vêm sendo também utilizados com sucesso para a prática da vermicompostagem, que é o processo de produção de húmus de minhocas. Essa operação não tem com certeza a finalidade de gerar grandes volumes desse produto para um mercado muito pequeno. Ela tem mais a finalidade de servir para testes de ecotoxicidade dos lodos e também de ferramenta educacional e ainda para promover a imagem dos lodos e das operações de reciclagem. Os compostos humificados resultantes da ação desses anelídeos têm sido utilizados com sucesso em plantas de vasos e jardins. Há casos bem sucedidos de produção de adubos foliares (diluídos em água) e também para serem adicionados em substratos de produção de mudas agrícolas, olerícolas, e até mesmo florestais.

A vermicompostagem é uma tecnologia que se vale de minhocas para acelerar a degradação da matéria orgânica dos lodos. Elas se alimentam dessa matéria orgânica e os seus excrementos (agregados de material orgânico degradado e terra) é que são considerados húmus. Esses excrementos humificados, denominados também de coprólitos, são ricos em nitratos, fósforo, potássio e magnésio.

O curioso nesse processo de compostagem é que a população de minhocas caminha na leira de compostagem (em geral de baixa altura), sempre na direção do material cru a ser decomposto, deixando para trás o vermicomposto ou coprólito. A ação das minhocas é, por isso mesmo, tanto física, química como biológica. Elas revolvem e arejam o composto, fragmentando materiais grosseiros. Deixam com isso espaço para que outros organismos também decomponham aerobicamente os materiais orgânicos presentes.

Nos intestinos das minhocas ocorrem ações biológicas intensas que ajudam a converter o lodo ingerido. Os coprólitos saem mais ricos em nutrientes liberados, hormônios e substâncias que estimulam o crescimento vegetal.

As minhocas são anelídeos também denominados oligoquetas terrestres. Elas têm especial atração pela matéria orgânica crua. Algumas espécies como a *Eisenia foetida* (minhoca vermelha da Califórnia) têm especial adaptação para atuarem sobre resíduos. Além disso, são capazes de viver em condições ambientais muito variadas. São enormemente prolíficas, aumentando sua população em pouco espaço de tempo. Entretanto, são sensíveis a altas temperaturas.

Para evitar que as minhocas sofram com o potencial aumento da temperatura devido à compostagem que pode ocorrer nas leiras, costumam-se criar leiras baixas, com perfurações e aberturas laterais (tijolos ou galhos de árvores espaçados) e ainda se misturar lodo já decomposto ou serragem de difícil decomposição com a matéria orgânica crua. Se isso não for feito, a temperatura pode subir a mais de 45°C e as minhocas não suportarão. Elas tenderão a fugir para cima, para baixo ou para os lados da leira.

É muito interessante também se acompanhar a sanidade das minhocas, sendo esse um bioensaio paralelo simples de se realizar.



Compostos orgânicos de lodos prontos para comercialização

O composto orgânico, a terra vegetal enriquecida e o vermicomposto de minhocas precisarão registros nos órgãos competentes de cada país para serem vendidos livremente e com segurança na agricultura. Até mesmo para uso nas fazendas florestais próprias, eles vão precisar de autorizações, até mesmo de estudos de impacto ambiental requeridas pelos órgãos de controle ambiental. Conforme os teores de alguns poluentes (como metais pesados e/ou PCDD/PCDF) eles poderão receber autorizações para uso apenas na silvicultura e não para agricultura, horticultura, paisagismo, etc. Em outras situações, em função de poluentes presentes, ou da orientação do órgão competente, não terão autorização para isso, a menos que apresentem argumentações técnicas muito convincentes. Isso se consegue com muita pesquisa e estudos científicos.

As empresas brasileiras do setor florestal que fabricam celulose e papel têm tido orientações variadas em o que fazer com seus resíduos compostados e estabilizados. Algumas os vendem nos mercados de terras enriquecidas ou compostos orgânicos. Entretanto, a maior parte têm preferido aplicá-los em suas áreas florestais para usar sua aptidão para fazer crescer as árvores que alimentarão as fábricas no futuro.

Diversas empresas brasileiras do setor de celulose e papel possuem estações de reciclagem de resíduos sólidos que são verdadeiras fábricas estado-da-arte de resíduos compostados estabilizados. Elas têm tido orientações distintas em sua forma de fazer a compostagem e de atender mercados. Em todos esses casos, têm mostrado um pioneirismo e uma atitude absolutamente exemplar para as demais empresas do setor. Algo que merece ser visto; por isso sugiro que visitem as referências da literatura e encontrem seus websites - farei menção de quais logo adiante nessa seção.

As razões para o sucesso e para a introdução dessa prática nas fábricas do setor são:

- Muita pesquisa e desenvolvimento de conhecimento básico e vital para as tecnologias de compostagem e reciclagem dos resíduos;
- Vontade política de fazer a coisa andar, sem achar que os gastos e investimentos seriam altos;
- Avaliação da relação benefício/custos envolvendo a análise de toda a cadeia produtiva onde a empresa atua, da floresta aos mercados de compostos orgânicos e Sociedade em geral;
- Ousadia e coragem de fazer a coisa certa;

- Vontade corporativa da empresa em ter ecoeficiência e sustentabilidade em suas operações industriais;
- Disposição de privilegiar o que é simples, bom, natural, honesto, útil, limpo e prático;
- Integração da reciclagem e compostagem de resíduos sólidos ao programa de gestão ambiental da empresa;
- Evitar criação de barreiras que excedam o lógico e que não tenham sustentação científica;
- Pesquisar e estudar mais e mais a cada dúvida ou questionamento que surgir por parte dos interessados e diretamente envolvidos e afetados;
- Convencimento da área florestal para atuar de forma integrada e comprometida ao processo de reciclagem de resíduos, aplicando os produtos onde necessários;
- Integração das máquinas e operações entre fábrica, área florestal e unidade de compostagem;
- Cumprimento exemplar das exigências legais e recomendações dos órgãos pertinentes, sejam eles ambientais ou agrícolas;
- Extrema confiança nos produtos desenvolvidos e comercializados, quer seja sobre sua performance, como sua segurança. Não ter preconceitos ou trabalhar forte esse tópico são coisas fundamentais nesse processo de reciclagem de resíduos sólidos, entre os quais os lodos.

O desenho e projeto de uma estação de compostagem envolverá inúmeros estudos ambientais, sociais, econômicos e de seus impactos. Hoje, os estudos de impacto ambiental são exigidos para quaisquer iniciativas nesse sentido. Nada mais natural que o sejam. Se não cuidarmos de fazer algo dentro dos conformes legais e dos melhores conhecimentos técnicos e científicos, com muita certeza, em pouco tempo aparecerão empresas sem capacidade e qualificação a se rotularem de recicladoras de resíduos, colocando a sua má-fé em desfavor da imagem do setor. Portanto, vejo como bem-vindas a adequação e conformidade legal e a fiscalização severa das estações de compostagem. Quem sabe, acredita e faz bem feito não tem nada a temer.

De uma forma bem superficial, são os seguintes os pontos a serem considerados para o projeto, implementação e operação de uma estação de compostagem de resíduos e lodos de fábricas de celulose e papel:

- Escolha da área de localização;
- Presença de população nas vizinhanças – por mais segura que seja a central de compostagem, as pessoas não gostam de ter esse tipo de atividades nas proximidades de seus lares;
- Caracterização geológica, geotécnica, geomorfológica e hidrológica da área;
- Caracterização dos parâmetros climáticos e da meteorologia do local;
- Escolha do terreno, declividade, nível do lençol freático, hidrologia do local, áreas de preservação permanente, etc.;
- Tipo de solo e compatibilidade ao uso;
- Presença de ecossistemas frágeis no local;
- Estabelecimento de sistemas de drenagem de águas de chuva, percolados, lixiviados, efluentes, etc.;
- Avaliação de todos os impactos potenciais de acordo com o que preconiza as normas ambientais.;
- Avaliação das necessidades de áreas pavimentadas e compactadas, depósitos, áreas de aterro e disposição final de resíduos, áreas de tratamento de efluentes, etc., etc.

Em geral, as áreas demandadas para essas estações de compostagem e reciclagem de resíduos são bastante grandes. Associadas à área de compostagem em si, também devem existir áreas de disposição e estocagem, áreas de secagem do composto, galpões de beneficiamento, e até mesmo áreas de disposição final para os resíduos que não são compatíveis à reciclagem. Por isso mesmo, áreas entre 10 a 20 hectares são normais para as fábricas de celulose e papel com produções diárias entre 1.000 a 3.000 toneladas de produtos vendáveis.

Os investimentos variam conforme a opção tecnológica adotada, o grau de complexidade selecionado, os objetivos da estação e as quantidades e qualidades dos resíduos. Se for apenas uma estação de compostagem de lodos, teremos um tipo de projeto; se for uma central de tratamento, reciclagem e disposição final de todos os resíduos sólidos, inclusive os perigosos, a opção de projeto será outra.

Os investimentos podem estar entre 5 a 20 US\$ por tonelada de celulose.ano e/ou papel.ano Isso significa que uma fábrica que produza 500.000 toneladas de celulose ou papel por ano terá um investimento entre 2,5 a 10 milhões de dólares, conforme a complexidade do sistema escolhido, incluindo aqui nessa estimativa a própria área de aterro industrial. Esse aterro poderá ser maior ou menor, em função da eleição tecnológica. As expectativas de custos operacionais variam entre 20 a 50 US\$ por tonelada de resíduos tal qual, desde a coleta na fábrica até a disposição final no comércio, agricultura, silvicultura ou aterro industrial.

Fábricas que possuam a geração de muitos resíduos, e esses sendo ainda muito úmidos e de má qualidade, gastarão muito mais em investimentos e nos seus custos operacionais. Sempre é bom lembrar isso a

quem vai começar no negócio e investir em uma estação de compostagem e reciclagem. Talvez comecem com o pé direito exigindo resíduos de melhor qualidade e especificações à sua equipe técnica de projeto.

Já vimos que a geração total de lodos em fábricas de celulose e papel pode variar entre 0,010 a 0,4 toneladas de lodo seco por tonelada de produto final. Significa que em uma instalação como essas, abstraindo todos os custos dos investimentos e do que representaram as perdas de insumos que viraram poluição e lodos, somente para se reciclar e destinar os lodos úmidos do processo teremos um gasto entre 2 até 80 US\$/tonelada de produto final fabricado pela empresa. Cabe portanto aos gestores otimizar suas operações para mínima geração de lodos. Isso tem reflexo enorme em custos, ficou bem claro e visível isso? Surpreende-me então que muitos não enxergam esses custos e menos ainda os custos de suas enormes perdas de fibras, cargas minerais, energia, trabalhos e retrabalhos, etc., etc.

Algumas empresas pioneiras na reciclagem via compostagem de lodos e outros resíduos orgânicos de celulose e papel no Brasil são as que se seguem:

- Celulose Riograndense (CMPC Brasil, ex-Riocell) em Guaíba/RS;
- Veracel, em Eunápolis, BA;
- International Paper do Brasil, em duas de suas fábricas – Luiz Antônio/SP e Mogi-Guaçu/SP;
- Conpacel, em Limeira/SP;
- Cambará Produtos Florestais, em Cambará do Sul/RS;
- Rigesa Celulose, Papel e Embalagens, em Três Barras/SC.

A tecnologia de compostagem varia entre elas, isso é normal. Como já dissemos, cada caso é um caso que precisa de estudos para se definir a melhor opção. No caso da empresa de celulose de mercado Celulose Riograndense, a gestão de seus lodos e resíduos é realizada pela empresa VIDA Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico. Ela adota uma etapa de decomposição anaeróbia de uma mistura de todos os lodos da ETE com dregs/grits para fornecimento de nutrientes e ajustes de pH, seguida de um tratamento aeróbio e depois secagem natural do composto formado em leitos de secagem. Já a compostagem da empresa Conpacel é feita pela empresa Ambitec e o sistema é aeróbio, com produção do composto em leiras de compostagem que são revolvidas mecanicamente. A compostagem é feita com uma mistura ampla de resíduos sólidos (casca, dregs/grits, lama de cal, etc.).

Existem muitos outros casos, com estações de compostagem algumas mais simples, mas sempre procurando estar em conformidade legal e máxima segurança e responsabilidade. Em todos os casos, o objetivo é

compostar os resíduos e transformá-los em composto orgânico ou em um resíduo orgânico estabilizado (“terra orgânica enriquecida”).

Há casos onde a tecnologia utilizada na central de reciclagem se baseia na mistura integral de todos os resíduos sólidos industriais gerados na empresa. Isso é feito nas próprias leiras de compostagem através de máquinas especiais para promover essa mistura. Com isso, teremos nas pilhas de compostagem materiais que por si só não são passíveis de serem compostados por não terem carbono orgânico, tais como a lama de cal, a cinza da caldeira de biomassa, etc. Isso pode simplificar as operações iniciais da estação, mas acredito que seria mais racional se compostar somente o que é compostável (lodos, cascas sujas e algo dos dregs/grits para ceder nutrientes). A velocidade de compostagem será maior e as necessidades em área de leiras muito menores.

Misturando-se tudo, o teor de matéria orgânica do material compostado resultante ficará muito baixo, abaixo de 25 %. Com isso, não se consegue enquadrar o produto como composto orgânico para venda, pois o composto deve ter valores maiores que isso de material orgânico.

Minha sugestão para esses casos seria a seguinte: a maior parte dos dregs/grits, as cinzas de caldeiras de biomassa e a lama de cal poderiam ser misturadas ao composto depois dele pronto (e em quantidades padronizadas para ajustes). Isso ocorreria na própria peneiragem do lodo compostado, muito simples. Enquanto a compostagem dos resíduos orgânicos estivesse ocorrendo nas leiras, esses outros resíduos poderiam ser estocados em abrigos cobertos, secando e estabilizando no caso dos dregs/grits e lama de cal. Já para as cinzas da caldeira de biomassa, que saem bem secas onde geradas, bastariam ser misturadas tão logo recolhidas. Seria uma gestão mais diversificada, com possibilidades de geração de produtos diferenciados a critério da demanda dos clientes.



Compostando misturas mais complexas de resíduos sólidos

Em quaisquer dos casos, o material compostado poderá ter os seguintes destinos:

- Fertilizante organomineral a granel (e eventualmente atuando também como corretivo de acidez de solos) para aplicação geral na silvicultura, agricultura anual extensiva, pastagens, olericultura, fruticultura e paisagismo/jardinagem;
- Fertilizante organomineral ensacado, distribuído comercialmente por supermercados e floriculturas, para usos em jardinagem doméstica e em pequenas escalas;
- Composto orgânico para uso em preparação de substratos de mudas. Nesse caso, o composto é misturado a outros ingredientes como: terra orgânica, vermiculita, casca de arroz carbonizada, casca de árvores carbonizadas, etc.;
- Vermicomposto de minhocas que é comercializado ensacado e para uso em plantas de vasos;
- Composto para cultivo de cogumelos: mercado muito mais exigente e que exige lodos mais seguros em termos de sua composição (restrições a organoclorados, metais pesados e patógenos).

Como uma referência para vocês, vejam a seguir o que a empresa VIDA relata para a composição de seu produto Humosolo, que nada mais é do que um composto (ou resíduo sólido compostado e estabilizado) originado de lodos e outros resíduos do processo de fabricação de celulose e papel.

Fórmula do Humosolo ou composto orgânico da empresa VIDA Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico

Fonte: <http://www.vida-e.com.br/form-humosolo.html>

Parâmetros gerais	Quantidade
Matéria Orgânica, %	20,0
Capacidade de retenção de umidade, %	30, 0
pH	7,5
Nitrogênio, %	0,50
Fósforo (P ₂ O ₅), %	0,60
Potássio (K ₂ O), %	0,25
Cálcio (CaO), %	1,50
Magnésio (MgO), %	0,20
Enxofre, %	0,25
Boro, ppm	30
Zinco, ppm	100
Manganês, ppm	300
Cobre, ppm	30
Molibdênio, ppm	8
Cobalto, ppm	2

Amigos, vocês puderam notar dessa seção como foi rápida a evolução dessa área de reciclagem de resíduos sólidos de nossa indústria brasileira de celulose e papel. Em um país de dimensão continental como o Brasil, com uma população crescente e demandante de recursos naturais e ambientais, nada melhor do que compatibilizar a geração de resíduos industriais com usos sustentáveis dos mesmos. Especialmente se forem destinados à agropecuária e silvicultura. Muito melhor do que aterrar isso tudo, concordam?

=====

USO AGRÍCOLA E FLORESTAL PARA OS LODOS



O uso agrícola e florestal de resíduos das fábricas de celulose e papel é antigo como prática operacional. Isso tem ocorrido em inúmeros países e para distintos tipos de fabricações. Existem milhares de publicações referindo e explicando sobre isso na literatura mundial. A maioria delas são escritas por eminentes pesquisadores acadêmicos em parceria com técnicos de empresas desse setor industrial. Essa orientação agrícola dos lodos tem sido mais recentemente complementada com a eleição de sua vocação florestal, para disposição em florestas plantadas de rápido crescimento.

Tanto cultivos agrícolas anuais (soja, cana-de-açúcar, etc.) ou perenes (pomares de frutas e cafezais, por exemplo), como florestas plantadas de eucaliptos e *Pinus* demandam muitos nutrientes para maiores crescimento e produtividade. A adubação mineral é rápida e fácil, mas custa cada vez mais aos empresários agrícolas e florestais. Também há suspeitas e evidências de que as fontes de nutrientes minerais se tornarão mais escassas e custosas. Com isso, a alternativa de utilização de resíduos municipais e industriais, que sejam ricos em nutrientes, tem chamado a atenção dos pesquisadores, técnicos, agricultores, etc. Há tantos exemplos de sucessos para essa prática que se torna absolutamente impossível se relatar de forma simplificada tudo o que existe. Colocamos algumas dezenas de sugestões de bibliografias na seção final de referências de literatura. Vocês poderão descarregar para leitura as que mais lhes chamar a atenção. Em geral, todas mostram ganhos positivos na produtividade, como também apontam efeitos sinérgicos para a adubação organomineral. Isso porque os compostos de lodo, com seus ácidos orgânicos do húmus, retêm água e nutrientes, impedindo a lixiviação e percolação dos nutrientes pela água das chuvas. Também o húmus ativa a micro-vida do solo, ajudando no desenvolvimento de micorrizas e outros organismos biológicos simbiotes e recicladores de nutrientes, que colaboram para melhor absorção e utilização desses nutrientes (sejam macro ou micro-nutrientes) pelas plantas.

Apesar do enorme sucesso e do muito que se publica sobre as vantagens, melhores dosagens e formas de aplicação, etc., o uso agrícola e florestal deve ser adotado com respeito e cautela. A prática é viável e desejável, mas deve ser feita com respeito e responsabilidade por todos. Isso porque existem alguns considerandos importantes a serem lembrados e cumpridos:

- Os lodos, quer na forma crua ou compostada, são resultantes de resíduos que precisam de especificações muito claras. Mais ainda, devem cumprir com as especificações e exigências legais, exigindo controle e fiscalização para isso. Tanto a presença como os teores limites dos poluentes mais problemáticos precisam de monitoramento.
- O uso agro-florestal de resíduos precisa ser respaldado por autorizações e aprovações ambientais e legais, bem como de registro de produtos em órgãos competentes. Em geral, as organizações públicas que concedem as licenças de operação exigem estudos de impacto ambiental e programas de monitoramento para verificação de eventuais impactos em cursos d'água, águas subterrâneas, química e física do solo, microbiologia do solo e também nos produtos da agricultura e silvicultura que venham a ser comercializados.
- O processo não se encerra com a obtenção da licença para uso do composto na agricultura e/ou floresta. Esse é só o ingresso para entrar no processo. Estudos e pesquisas devem ser executadas de forma compartilhada e continuada pelo gerador dos resíduos e pela empresa gestora da reciclagem dos resíduos. Os objetivos devem ser orientados para a otimização dessa prática, potencialização de novos usos e minimização de quaisquer riscos sociais e ambientais.
- A legislação aplicável ao uso de resíduos no solo é vasta a nível mundial. Deve-se estar sempre monitorando a mesma, procurando pelas novidades e eventuais mudanças. Em casos de alterações, entender as razões para elas.
- Todo esse processo é de longo prazo. Alguns contaminantes dos lodos podem-se acumular nos solos com aplicações exageradas e continuadas do material em uma mesma área. Esse é um perigo normal de acontecer, pois algumas empresas selecionam as áreas mais próximas do ponto de geração para aplicar mais do material. Com isso, podem sobrecarregar a capacidade de absorção e retenção desses solos.

Eu tenho muita preocupação com empresas que tenham baixo nível de compromisso com a sustentabilidade de seus recursos naturais. Algumas podem estar só preocupadas em achar um lugar para jogar os resíduos, e

usam a compostagem como uma “operação de fachada”. Nesse caso, pode ocorrer super-concentração desses solos com os resíduos, e daí, em um instante mais, contaminações de recursos hídricos, arraste de resíduos por drenagem superficial, etc. Até mesmo os produtos agropecuários podem ficar contaminados.

Não podemos ficar de olhos fechados aos maus exemplos: eles podem definitivamente prejudicar a todos os demais que procuram fazer as coisas bem feitas e dentro de protocolos de segurança e de minimização de riscos. Por essa razão, insisto muito para que essa atividade seja trilhada apenas pelos que acreditam nela e desejam fazer isso de forma muito legal, sendo inclusive regulamentada e fiscalizada por auditores de terceira parte. Esses podem ser contratados por iniciativa da própria empresa, sem ter que esperar uma exigência legal do órgão de controle. Agregaremos com isso credibilidade, segurança e transparência.

Eu particularmente acredito muito na utilização agro-florestal dos lodos de fábricas de celulose e papel, afinal participei desde o início das pesquisas iniciadas em 1983 para que isso pudesse acontecer na empresa Riocell, onde trabalhei por 19 anos. Gostaria muito que os cuidados tomados pelas empresas Celulose Riograndense, Veracel, Conpacel e International Paper do Brasil, dentre outras tantas mais, possam ser multiplicados para muitas outras empresas no Brasil e fora dele. Tenho absoluta certeza de que essas empresas possuem estações de reciclagem de resíduos das melhores e mais modernas do mundo nesse setor. Não espero que todas tenham esses tipos de estações de reciclagem estado-da-arte e moderníssimas. Até mesmo porque a compostagem é uma operação microbiológica muito simples, que pode ser feita até mesmo por um cidadão normal em sua casa. Advogo porém a necessidade de compatibilizar qualidade, produtividade, custos, segurança e compromisso sócio-ambiental nesse processo.



Compostagem de resíduos orgânicos em pequenas composteiras caseiras
Fonte: Brito, 2006

Os lodos compostados podem e devem ser utilizados como biofertilizantes agrícolas, florestais e até mesmo para hortaliças e plantas de vasos caseiros. A aplicação deve ser sempre monitorada pelos produtores em seus aspectos práticos e legais. No caso de se notar algum tipo de efeito fitotóxico em algum usuário, deve-se buscar entender a causa desse efeito, antes de se sacrificar a prática. Por exemplo, pode-se notar um caso de fitotoxicidade em uma hortaliça fertilizada com o produto, Ao se buscar as causas disso, pode-se descobrir que o lodo compostado, que possuía também uma mistura com dregs/grits, não tinha uma mistura tão efetiva desses ingredientes. Algumas partículas maiores empedradas desse resíduo alcalino poderiam ser a causa dessa fitotoxicidade encontrada. Nada a se alarmar nesse caso, apenas correspondem a indicações do que deve ser melhorado no processo de produção do composto (melhorar a mistura do composto de lodo com o resíduos alcalino e evitar material empedrado)”.

A aplicação agrícola dos lodos deve ser orientada ao oferecimento de nutrientes valiosos ao cultivo agrícola e florestal, bem como de carbono orgânico aos solos para melhorar a sua estrutura e física. Com isso, o lodo aplicado deverá ser atendido com a melhoria da produtividade da cultura e também da qualidade do solo. Estamos falando de sustentabilidade da capacidade produtiva dos solos, coisa que muita gente se esquece, preocupando-se apenas com a produtividade das culturas no curto prazo.

Ao mesmo tempo que podemos agregar sustentabilidade, teremos que minimizar os riscos potenciais, tais como:

- Eventual concentração de íons problemáticos ao solo como cloretos, sódio e alumínio, os quais podem, no longo prazo, afetar as propriedades físicas e estruturais dos solos e de suas argilas;
- Eventuais alterações no pH dos solos (caso o composto tenha um pH mais alcalino em função da mistura de resíduos alcalinos ou de lodos do papel). Não é um problema tão grave, pois a maioria dos solos brasileiros carecem de cálcio e magnésio e são mais do tipo de solos ácidos. Com isso, esses compostos também atuam como corretivos de acidez do solo.
- Eventual impermeabilização das camadas superficiais do solo, devido a dosagens excessivas por exemplo de lodo cru ou lodo do destintamento do papel;
- Eventual percolação em solos arenosos com cursos d'água nas proximidades e passíveis de receberem extratos de resíduos percolados ou arrastados. Solos argilosos e arenosos são muito diferentes em sua capacidade de receber esses compostos orgânicos da reciclagem das fábricas de celulose e papel. Nossos técnicos precisam entender bem isso.

No Brasil existe legislação específica do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para aplicações de fertilizantes orgânicos resultantes da compostagem. É a Instrução Normativa nº 27 de 2006. Suas exigências estão a seguir:

LIMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES ADMITIDOS EM FERTILIZANTES ORGÂNICOS

Contaminante	Valor máximo admitido
Arsênio (mg/kg)	20,00
Cádmio (mg/kg)	3,00
Chumbo (mg/kg)	150,00
Cromo (mg/kg)	200,00
Mercúrio (mg/kg)	1,00
Níquel (mg/kg)	70,00
Selênio (mg/kg)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> sp	Ausência em 10g de matéria seca

Nota: Para os fertilizantes organominerais, o valor máximo admitido para cada contaminante será obtido pela soma dos valores deste Anexo V com os valores referentes às garantias dos nutrientes, calculados pelo Anexo I ou Anexo II desta Norma, conforme o caso, referentes aos fertilizantes e corretivos minerais misturados no composto.

Fonte: Instrução Normativa nº 27 do MAPA - 09/06/2006 – dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.

<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=16951> (IN nº 27)

e

<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=11369> (Anexo V)

Nos casos que tenho conhecimento e que tenho acompanhado, nossos compostos de resíduos de fábricas de celulose e papel têm-se enquadrado

tanto na legislação brasileira, como no que recomendam as legislações norte-americanas, canadenses, alemãs, etc. Esse enquadramento ocorre tanto para os metais pesados, organismos patógenos, como para os organoclorados do tipo dioxinas e furanos. Nossos lodos e resíduos compostados têm mostrado valores bem abaixo desses limites legislados pelas mais severas e rígidas legislações.

Tenho alguma preocupação quanto à homogeneidade da mistura de resíduos e também quanto à presença de sementes de ervas daninhas nesses compostos. Como as estações de compostagem se localizam em áreas rurais, há sempre a chance de se terem contaminações com sementes de pragas agrícolas. São recomendadas barreiras das próprias árvores das florestas plantadas para minimizar esse risco. Isso pode-se converter em uma problema para o usuário, especialmente quando o cliente compra o composto para usar no jardim de sua casa. Acreditando que esteja colocando uma terra preta valiosa para o gramado, ele poderá estar contaminando com ervas daninhas o seu quintal. Como isso já aconteceu comigo, dou esse exemplo com a máxima autoridade.

Respeitando as recomendações legais e usando o bom senso, bem como a experiência adquirida e comprovada pelos milhares de artigos técnicos disponibilizados na literatura, temos todas as condições de realizar um excelente trabalho de se produzir e usar lodos em agricultura e silvicultura. Tenho insistido e falado muito e diversas vezes, para que fique bem claro que temos tecnologias e conhecimentos e devemos nos valer disso. Também tenho repetido que minha preferência é por material compostado no caso dos lodos, e já disse também as razões dessa escolha, mais ecoeficiente e sustentável. Para uso de lodo cru, as atenções e avaliações devem ser maiores, como é no caso dos bio sólidos.

As dosagens de lodo compostado vão depender da cultura sendo adubada, da época e maneira de adubação, da fertilidade do solo e das concentrações de nutrientes no composto. As taxas de aplicação variam entre 10 a 60 toneladas de composto por hectare, sendo esse peso referido a composto como tal, a cerca de 50% de umidade. Existem diversos estudos mostrando que dosagens muito elevadas podem causar algum tipo de inibição ou mesmo depressão de crescimento de algumas culturas, isso especialmente em casos de lodos imaturos (com relação C/N acima de 20). Mesmo nesses casos, após algum tempo a situação acaba se ajustando, já que o lodo termina sua degradação no campo (floresta ou agricultura).

As maneiras de se colocar o lodo nas culturas também variam muito:

- A lança ou por distribuição regada sobre a área toda em pré-plantio (de preferência com lodos mais secos e granulados, ou então por “landspreading” de lodo líquido);
- Incorporado no sulco de plantio;
- Colocado na entrelinha como adubação de cobertura, quando a cultura agrícola ou a floresta já tiverem uma certa altura do solo; favorece a menor oxidação do lodo quando da incidência do sol.
- Na cova, ligeiramente afastado das raízes da muda plantada;
- Etc.

Eu tenho o máximo respeito pelo enorme poder de oxidação do carbono orgânico dos lodos e do solo pela insolação direta em locais muito quentes. Já lhes disse isso. A fragilidade das moléculas de húmus é grande e sua resistência a uma degradação química e biológica é baixa nessas condições. A rápida oxidação destrói o carbono orgânico muito rapidamente. Por isso, prefiro as adubações em cobertura, à sombra, após um certo crescimento da cultura agrícola ou da floresta. Ou então, a incorporação no solo, que é algo intermediário.

Há ainda os que preferem aplicar na forma líquida e os que gostam de aplicações combinadas como adubo organomineral. Enfim, as alternativas são inúmeras.

Acredito também que deve ser função das empresas que compostam e oferecem o lodo compostado para a agricultura e silvicultura a assistência técnica aos clientes do composto. Isso pode ser feito diretamente pela empresa ou em serviço terceirizado ou em parceria com entidades públicas de extensão rural.

Uma forma muito útil para convencer e ensinar os produtores rurais é a implantação de parcelas experimentais no campo, onde cada tipo de solo e de cultivo poderá receber uma parcela de demonstração para aprendizado e otimização da técnica. Com isso, evitam-se os enganos de aplicações em escalas muito grandes. Acerta-se o passo em escala pré-operacional para depois a implementação em maior escala. Da mesma forma que se desenvolve um produto papeleiro nas nossas fábricas, deve-se fazer o mesmo para se desenvolver o interesse e o gosto pelos fertilizantes de lodo compostado.

Existem máquinas em pleno uso para essas aplicações em larga escala. Podem ser tipo caminhões caçamba com esteira móvel para liberação do composto ao solo, conforme o veículo se move para a frente, podem também ser equipamentos acoplados à tomada de força do trator para lançar o composto à distância, etc. Cada situação deve ser previamente adequada

ao produto que se tem para aplicar, bem como às características da cultura e da área onde será aplicada (declividade, espaçamentos, etc.).

Lodos industriais compostados são uma realidade na agricultura e silvicultura brasileira. Eles atuam como fertilizantes organominerais, corretivos de acidez do solo, retentores de umidade e de nutrientes, fontes de carbono orgânico e húmus, ativadores da micro-vida do solo, etc., etc. Há ainda enorme espaço para crescimento dessa prática na silvicultura e na agricultura no Brasil. Também no setor de celulose e papel.

Difícil mesmo é entender porque, com tanto conhecimento e experiências bem sucedidas, ainda existem dirigentes de empresas preferindo pagar um preço exorbitante para enterrar lodos e outros resíduos úteis para a agricultura/silvicultura em aterros industriais. E isso ocorre para sempre - depois que se coloca o resíduo no buraco e se fecham e se lacram as células, o retorno é quase irreversível. Um adeus à ecoeficiência e sustentabilidade.



Aplicando lodos compostados – Fonte: Organoeste, 2010

=====

DESTINANDO LODOS PARA ATERROS



Aterrar lodos da fabricação de celulose e papel é uma prática que se torna necessária algumas vezes, mesmo quando se possuem sofisticadas e modernas instalações de compostagem e reciclagem de resíduos sólidos. O aterro de lodos tem alto grau de eco-ineficiência, pois os constituintes dos lodos se perderão como materiais a serem usados por outros processos industriais. O aterro é o adeus definitivo a qualquer possibilidade de reciclagem desses materiais. Em geral, dificilmente se aterram os lodos isoladamente, exceto quando eles possuem altos teores de cinzas em sua constituição. Como os lodos são pastosos e de baixas consistências, eles precisam de material mais seco e mais compactável para dar mais estabilidade nos aterros. Usam-se cinzas de caldeiras de leito fluidizado, cinzas da queima de biomassa ou carvão mineral, dregs/grits, etc. Com essa mistura, inviabilizam-se quaisquer iniciativas de se buscar mais tarde os lodos nos aterros para dar a eles um destino digno pela reciclagem.

Sempre tenho recomendado que, se não houver outra alternativa e os lodos tiverem que serem enterrados em aterros, que se busque fazer isso da seguinte forma:

- Mapear muito bem onde o resíduo foi enterrado;
- Procurar depositar o lodo em células na forma pura ou em uma mistura padronizada com algum outro resíduo também conhecido e de fácil reciclagem (como é o caso das cinzas da biomassa e/ou os dregs/grits).

Com isso, caso o mercado de produtos derivados da reciclagem aumentar e se fizerem necessárias quantidades maiores de matérias-primas, poderemos ir buscá-las nos aterros. Abrem-se assim novas áreas para disposição de resíduos em aterros já completados no passado. Mas isso tudo demanda autorizações legais - não se esqueçam da responsabilidade com os resíduos enterrados.

Os lodos depositados em aterros tendem a se decompor anaerobicamente. Aproximadamente 30% do carbono orgânico vai ser liberado gradualmente como metano. O restante ficará no aterro para sempre. Quando bem planejado o aterro, e com tecnologias de coleta e reciclagem de biogás, esse metano poderá ser recuperado e fazer parte do processo de reciclagem da empresa.



É muito custoso aterrar resíduos sólidos industriais para sempre, mas às vezes é necessário e precisa ser muito bem feito

Quanto mais úmido e orgânico for o lodo, com partículas finas e de baixa capacidade de adensamento, maior será o volume que ele vai ocupar nos aterros. Também a geração de percolados e lixiviados aumentará, exigindo maior impermeabilização das células do aterro e também sistemas sofisticados de coleta e tratamento desses líquidos. Nessas situações, o lixiviado é recolhido na parte inferior dos aterros por sistemas de captação e coleta especialmente desenhados para isso. Esse efluente do aterro é um líquido escuro, de péssimo odor de compostos de enxofre e que possui altíssima carga orgânica. Seu tratamento é muito difícil de ser realizado por sistemas simples como “wetlands” (pântanos construídos) ou em sistemas de leitos de plantas emergentes. Essas alternativas são desejáveis em locais onde os aterros são em geral construídos, à distância das populações e da própria fábrica, onde temos grande número de pessoas trabalhando. Nesses

casos, a solução é recolher esse líquido e direcionar o mesmo para ser tratado e processado na fábrica de celulose e/ou papel. Há um grande perigo nessa operação, pois os gases liberados pelos percolados/lixiviados ou ditos efluentes do aterro são tóxicos e explosivos. Portanto, todo cuidado é pouco com esses líquidos e seus gases.

Exatamente por razão desses percolados e gases perigosos é que as exigências de impermeabilização e capeamento dos aterros são rigorosas. Com isso, tenta-se impedir que um aterro de resíduos sólidos passe a poluir os lençóis freáticos e as nascentes de água próximas, bem como se converta em um local de odor desagradável para os que lá trabalham, visitam e moram perto.

Frente a esses problemas, a destinação de lodos em aterros só deve ser considerada como a última das opções. Que o digam aqueles que viveram problemas de rompimento de aterros de lodos, com enormes problemas ambientais e sociais advindos desses desastres ecológicos.

Entretanto, quando não se tiver escolha e o aterro for a destinação aos lodos, temos que projetar o mesmo muito bem frente às adversidades conhecidas, como:

- Possibilidades de exalação de forte odor;
- Riscos de poluição de recursos hídricos locais;
- Risco à saúde das pessoas que trabalham no local e para as populações vizinhas;
- Riscos de desabamentos e rompimentos, que oferecem chances de contaminações externas muito perigosas e relevantes para a imagem da empresa e do setor;
- Riscos da emissão de gases;
- Necessidade de contínuo monitoramento em poços abertos no local, nos cursos de água, nascentes, etc.
- Etc.

Do meu conhecimento e experiência, todos os aterros industriais que são projetados para um longo prazo de vida, acabam se enchendo bem antes disso. Isso é de causa patológica: a partir do momento que o ser humano sabe que tem um lixão à sua disposição para colocar seus detritos, ele deixa de se preocupar com eles. Não cuida tanto de suas especificações, quantidades geradas, coleta seletiva, etc. Até se esquece que gera resíduos. O mesmo ocorre nas fábricas: tudo acaba sendo enviado ao aterro industrial, “afinal, ninguém sabe exatamente onde ele fica e quanto custa o metro cúbico de lixo enterrado”.

As empresas se preocupam tanto em educar seus funcionários para que não deixem restos de comida nos pratos das refeições. Muito salutar isso. Deveriam também ter sistemas de quantificar todos os lixos gerados

pelas pessoas e pelas áreas da fábrica. Seria mais um processo educacional valioso e útil para sua requerida sustentabilidade.

Recomendo um enorme movimento para a conscientização das pessoas em relação ao custo da geração e do gerenciamento dos resíduos sólidos: sobre o quanto a empresa e a Natureza perdem quando algo bom vira lixo ou resíduo. É o caso de fibras celulósicas boas, que poderiam sair como celulose de mercado ou como papel e saem como lodo primário, etc., etc., etc., etc., etc....

Os terceiros, que trabalham na empresa, necessitam também de educação ambiental e de comprometimento para as especificações e gerações dos lodos. Quer os lodos sejam reciclados ou aterrados, as especificações devem ser mantidas. Já vimos dezenas de vezes que a mais importante das especificações seria seu teor de umidade. Os lodos precisam ser bem desaguados, armazenados em depósitos cobertos ou em caçambas herméticas para evitar que se tornem papas impossíveis de serem coletadas e transportadas em dias de chuva.

Infelizmente, não são comuns esses cuidados em muitas de nossas fábricas. São coisas tão simples e baratas: difícil de entender porque não há essa preocupação dos engenheiros que projetam os sistemas de coleta e manuseio de resíduos sólidos.

Vamos a mais um exemplo numérico bem simples, referente ao compromisso dos operadores com os lodos gerados sob sua responsabilidade. Suponhamos que um lodo possa ser desaguado pela prensa em uma faixa de consistência entre 25 a 35%. Se o operador é consciente de suas responsabilidades com as prensas e com o lodo, ele pode conseguir 35%. Caso ele não ache que o lodo é importante e não mereça seus cuidados, essa consistência ficará variando entre 25 ou menos até 35%. Se o operador e a manutenção forem omissos a essa especificação, ele poderá ter por exemplo uma média de 25% de consistência, quando poderia ser 35%.

Para cada tonelada desse lodo seco gerado teremos:

- 4 toneladas úmidas a 25% de consistência;
- 2,86 toneladas úmidas a 35% de consistência;
- 4,7 m³ de lodo a 25% de consistência (admitindo uma densidade de 0,85 t/m³ para esse lodo a 25% de consistência)
- 3,6 m³ a 35% de consistência (admitindo uma densidade de 0,80 t/m³ para esse lodo a 35% de consistência)

Admitamos que o volume útil de uma caçamba seja de 10 m³. A cada transporte de uma caçamba cheia de lodo ela estará levando:

2,13 toneladas de lodo seco, quando a 25% de consistência;
2,78 toneladas de lodo seco, quando a 35% de consistência.

Caso essa fábrica gere 12 kg de lodo base seca por tonelada de produto vendável, e admitindo que a produção anual da fábrica seja de 500.000 toneladas de produtos vendáveis, teremos uma geração anual de 6.000 toneladas de lodo seco.

Vejamos agora o que isso representa em número de viagens adicionais de caçambas carregadas de lodo a serem movimentadas por ano, para o aterro ou para a estação de reciclagem:

2.817 caçambas de lodo a 25% de consistência;
2.158 caçambas de lodo a 35% de consistência.

Δ = 659 viagens a mais pelo mau desaguamento e gestão inadequada desse lodo pelas pessoas da fábrica. Seriam quase duas viagens adicionais por dia. Um desperdício ambiental e um custo a maior por essa operação menos ecoeficiente.

Esse lodo ainda ocupará mais volume no aterro industrial, gerará mais percolados para serem tratados como efluentes, demandará mais material seco para ser compactado nos aterros, etc., etc. O pior dos mundos acontecendo sob nossos complacentes olhares.

Infelicidade ainda maior é ver esse lodo ficar a céu aberto, tomando chuva, gerando um lixiviado cheio de sólidos sendo carregado para os efluentes (às vezes até para o pluvial) através de canaletas. Coisas inaceitáveis e incompreensíveis.



Lodos devem ser recebidos na sua geração em áreas cobertas e pavimentadas
Fonte: CELCO – Planta Valdivia, Chile

Investimentos para correção desse tipo de problemas e mesmo para educação de operadores se pagam em pouquíssimo tempo. Tudo isso que mencionamos impacta os aterros industriais de forma muito relevante. O trabalho fica mais difícil, perigoso e custoso, tornando a operação mais ineficiente e ecologicamente incorreta.

Os aterros industriais são regulamentados por normas e legislações específicas. Eles também precisam de estudos de impacto ambiental para aprovação e licenças de operação renovadas em períodos de tempo. Estão sujeitos a fiscalização e planos de monitoramento das suas contaminações no ar, solo, aquíferos, recursos naturais, etc. São comuns os casos de empresas que precisam retirar enormes quantidades de resíduos de um local mal projetado ou mal operado para levar a outro mais adequado. Enfim, um mundo do menos na vida de quem parece gostar de viver nessas condições.

Já não existe mais o tempo em que os aterros de resíduos industriais eram os pátios dos fundos das fábricas. Ou então, as épocas distantes em que o mar ou os rios eram sacrificados pela disposição de lixo industriais. Graças ao bom Deus e aos homens de bem, os tempos mudaram - a sustentabilidade exige novas posturas e responsabilizações.

Temos que entender nossos resíduos e procurar adequar nossas tecnologias para minimizar sua geração. Também para reciclar o que for reciclável e dispor em aterros o mínimo possível do que não for possível para outra destinação mais ecoeficiente.

Os lodos são diferentes de cinzas de caldeiras de biomassa, são muito diferentes de dregs/grits e da lama de cal. Eles demandam mais atenção e tecnologias mais específicas para serem desaguados, manuseados, transportados, compostados e inclusive aterrados. Tudo isso deve ser tratado com muito respeito ao meio ambiente, segurança ambiental, qualidade sanitária e minimização de impactos. Tenho certeza que os impactos existirão, mas eles podem ser mínimos e em muitos casos, serem convertidos de impactos negativos a impactos positivos. A compostagem e uso agro-florestal dos lodos é um exemplo de um impacto positivo desenvolvido a partir de um negativo, que seria colocar o lodo em um aterro para sempre.

=====

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Sempre tive um enorme carinho e dedicação aos setores florestal e de celulose e papel, desde que iniciei neles em 1967. Também sempre acreditei que a inovação nos conceitos tecnológicos nos ajudará a melhorar muito na busca da sonhada sustentabilidade. Essa é uma das minhas maiores crenças e forças para continuar sonhando com e batalhando por um setor cada vez melhor, mais sustentável e mais justo. Por essa razão, a ênfase que sempre coloquei na ecoeficiência, na melhoria contínua, na educação de pessoas, na quebra de paradigmas e na inovação tecnológica para esses setores. Já escrevi e tenho falado muito sobre esses temas todos, sobre ecoeficiência e sustentabilidade, desde a floresta até a reciclagem do papel. Também tenho colocado algumas críticas, que devem ser entendidas como alertas para estimular mudanças; ou para reflexões, pelo menos isso.

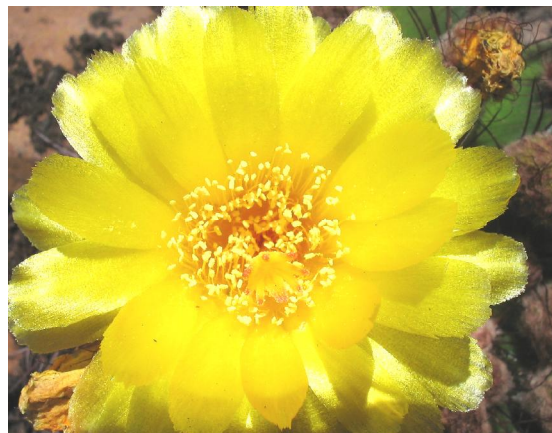
Minha meta sempre foi a de incentivar avanços setoriais, tanto na forma de comportamento, atitude, gestão e tecnologias. A ecoeficiência é uma excelente ferramenta para conseguir saltos de performances operacionais, gerenciais, ambientais e energéticas.

Não tenho dúvidas que o setor brasileiro de celulose e papel almeja um futuro melhor, não apenas como negócio ou oportunidade econômica, mas como um negócio inserido dentro de uma matriz de alta sustentabilidade para a Sociedade e para a Natureza. Por essa razão me esforcei muito para escrever mais um capítulo do **Eucalyptus Online Book** que possa ajudar esse meu setor de celulose e papel a atingir esse sonhado e desejado futuro melhor.

Espero que o que escrevi a vocês sobre os **muitos lodos gerados como resíduos sólidos na fabricação da celulose e papel**, bem como a forma como eu enxergo a sua gestão e viabilização de usos, possa ser muito útil a vocês e ao nosso setor, no Brasil ou fora dele. Afinal, somos todos partes de uma grande família com responsabilidades de sustentabilidade globais.

Aguardem, há mais capítulos nessa série que estou escrevendo sobre temas ambientais onde estão tão fortemente inseridos os eucaliptos, agregando muita competitividade ao Brasil nessa cadeia produtiva da celulose de mercado e do papel.

**Um abraço a todos e obrigado
Celso Foelkel**



**Gestão ecoeficiente de nossos lodos e resíduos industriais
Contruindo no presente um futuro melhor para todos**



REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA



Meus amigos, os meus propósitos com esse capítulo do **Eucalyptus Online Book** sobre **Lodos e Lodos**, importantes resíduos sólidos da fabricação da celulose e papel, foram os seguintes:

- a) oferecer uma base conceitual teórica aos que trabalham no setor, para que possam melhor entender e agir sobre os lodos presentes nos processos industriais, quer seja minimizando sua geração, ou utilizando os mesmos como matérias-primas para outros processos agrícolas, florestais ou industriais. Isso procuramos fazer no texto que vocês acabaram de ter acesso;
- b) disponibilizar uma extensa seleção de textos técnicos que pudessem servir de base tecnológica para que qualquer pessoa do setor que porventura venha a se dedicar a estudar esse tema possa de forma simples ter em suas mãos uma qualificada biblioteca.

Por essa segunda razão, estou a seguir lhes disponibilizando mais de três centenas de referências de textos, websites, palestras e eventos que guardam relação direta com o que apresentamos nesse capítulo. São artigos, manuais, materiais de cursos, palestras, enfim, uma coleção para ser estudada com carinho por todos aqueles que queiram entender e otimizar a gestão de lodos industriais como importantes resíduos sólidos do setor de papel e celulose.

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

Embora existam, dentre as referências, alguns websites de empresas tipicamente comerciais, a sua citação se dá para que se possa conhecer as tecnologias desenvolvidas para lodos e não devem ser entendidas de forma alguma como uma indicação comercial do autor desse trabalho sobre os

produtos em questão. São apenas referências técnicas para aprendizado dos leitores. Caso alguma empresa comercial sinta que suas tecnologias em seu website poderiam enriquecer ainda mais esse texto de referências tecnológicas sobre lodos, por favor contatem o autor para que ele possa avaliar a inclusão ou não do website sugerido em uma próxima revisão desse capítulo.

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



O ciclo industrial dos lodos orgânicos da indústria de celulose e papel

Segue a **Biblioteca de Livre Acesso Público** acerca de **Lodos e Lodos** com mais de 300 artigos e websites relevantes:

The Forest Alternative. Principles and practice of residues use. FAZ Proceedings. University of Washington. Acesso em 02.07.2010:

Disponível em:

<http://faculty.washington.edu/clh/FASProceedings>

Use of industrial residues on eucalypt plantations in Brazil. I.A. Guerrini; P.L.V. Bôas; J.L.M. Gonçalves. In: The Forest Alternative. Principles and practice of residues use. FAZ Proceedings. 07 pp. Acesso em 02.07.2010:

Disponível em:

<http://faculty.washington.edu/clh/FASProceedings/Ch32Guerrini.pdf>

Recycling paper mill by-products on forest lands: by-product and industry case studies. E.D. Vance. In: The Forest Alternative. Principles and practice of residues use. FAZ Proceedings. 15 pp. Acesso em 02.07.2010:

Disponível em:

<http://faculty.washington.edu/clh/FASProceedings/Ch30Vance.pdf>

Sludge from pulp and paper mills. Reach for Unbleached Foundation. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.rfu.org/cacw/pollutionSludge1.htm> (Diversos excelentes artigos sobre aplicações e reciclagem de lodos da fabricação do papel)

Pulp and paper mill residuals. A resource too valuable to waste. British Columbia Pulp and Paper Association. 16 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.cofi.org/library_and_resources/publications/environmental_energy/pdf/pulp%20and%20paper%20mill%20residuals.pdf

CBRO 2009 – “Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos”. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER). Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.incaper.es.gov.br/congresso_residuos (Página do evento)

http://www.incaper.es.gov.br/congresso_residuos/?a=palestras (Palestras)

http://www.fundagres.org.br/congressos/cd_cbro/cbro.rar (Anais do evento compactado em RAR)

http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/revista_cbro.pdf (Revista do congresso)

Simpósio sobre "Uso de Biossólidos em Plantações Florestais". IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Acesso em 30.06.2010:
Disponível em:
<http://www.ipef.br/eventos/2006/biossolidos.asp>

ABLP – Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública.
Website especializado. Acesso em 30.06.2010:
Disponível em:
<http://www.ablp.org.br/index.php> (Webpage)
<http://www.ablp.org.br/conteudo/revista.php> (Revista Limpeza Pública)

Biossolo - Agricultura e Ambiente. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:
Disponível em:
<http://www.biossolo.com.br/ssb/ss.cgi>
<http://www.biossolo.com.br/ssb/ss.cgi?link=7> (Legislação)
<http://www.biossolo.com.br/ssb/ss.cgi?link=6> (Publicações)
<http://www.biossolo.com.br/ssb/ss.cgi?link=5> (Fotos e vídeos mostrando aplicação do lodo ao solo)

As perguntas mais frequentes sobre compostagem em larga escala.
U.S. Composting Council Fact Sheet. Versão em Português. Acesso em 30.06.2010:
Disponível em:
<http://www.resol.com.br/textos/Compostagem.htm>

Disciplina ""Uso de Fertilizantes e Resíduos na Agricultura". G.H. Korndörfer. Universidade Federal de Uberlândia. Apostilas de aulas da disciplina. Acesso em 30.06.2010:
Disponível em:
<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/ag524/apostila.htm> (Apostilas gerais)
<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Apostila%20Ad.%20Organicos%2003.pdf> (Adubação orgânica)
<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/ag524/Apostilas/PG-VINHACA%20-%20Impacto%20ambiental%20-%20Portugues%20Ver.%2028.pdf> (Impacto ambiental dos resíduos)

Disciplina "Adubos e Adubações". G.H. Korndörfer. Universidade Federal de Uberlândia. Apostilas de aulas da disciplina. Acesso em 30.06.2010:
Disponível em:
<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/apostila.htm> (Apostilas gerais)
<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/COMPOSTAGEM%2003.pdf> (Compostagem)

Resíduos. VIDA Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico Ltda. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:
Disponível em:
http://www.vida-e.com.br/vida_s-residuos.asp

http://www.vida-e.com.br/vida_det-residuos_1.asp (Celulose Riograndense - Unidade Guaíba/RS)

http://www.vida-e.com.br/vida_rigesas.asp (Rigesas - Três Barras/SC)

http://www.vida-e.com.br/vida_veracel.asp (Veracel - Belmonte, BA)

Produtos biológicos. VIDA Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico Ltda. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.vida-e.com.br/vida_produtos-cj.asp (Produtos para Casa & Jardim)

http://www.vida-e.com.br/vida_produtos-a.asp (Produtos para a Agricultura)

http://www.vida-e.com.br/vida_p-cj-humosolo.asp (Humosolo ou composto orgânico de lodos, cascas, etc)

<http://www.vida-e.com.br/form-humosolo.html> (Fórmula química do composto orgânico)

Residual management systems. Synagro Technologies. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.synagro.com>

<http://www.synagro.com/industries/paper.html> (Celulose e papel)

<http://www.synagro.com/recycle/use.html> (Usos e legislações norte-americanas para biossólidos)

Grupo de Pesquisas Resíduos na Agricultura. Portal Ambieneteng.br. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.ambieneteng.br/LIVROS.HTML> (Livros publicados, alguns sobre lodos e biossólidos na agricultura)

<http://www.ambieneteng.br/PPROFERIDA.HTML> (Palestra - Uso de lodo de esgoto na agricultura)

Ácidos húmicos. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.acidoshumicos.com.br>

http://www.acidoshumicos.com.br/humico_2.php

http://www.acidoshumicos.com.br/humico_3.php

Elementos-traço. Os metais pesados no solo. L.R.G. Guilherme; G. Marchi. ANDA/DBO Tecnologia. 02 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.anda.org.br/artigos/MetaisPesados.pdf>

Dioxin sources. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://dioxinfacts.org/sources_trends/sources.html

Trends in dioxin emissions and exposure in the United States. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.dioxinfacts.org/sources_trends/trends_emissions.html

Biomass combustion in pulp and paper mill boilers. W. Duo. FPIInnovations-Paprican. Apresentação em PowerPoint: 52 slides. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.biomass.ubc.ca/docs/Duo_07.pdf

Investigations into the variability and control of dioxins formation and emissions from coastal power boilers. V. Uloth; W. Duo; D. Leclerc; I. Karidio; J. Kish; D. Singbeil. PAPRICAN Executive Report. 21 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.croftonair.org/images/stories/papricanexecsummary.pdf>

Gerenciamento de resíduos sólidos. Klabin. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.klabin.com.br/pt-br/responsabilidadeAmbiental/estacoesDeTratamento-residuosSolidos.aspx>

Compostagem de resíduos. VCP – Votorantim Celulose e Papel. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.vcp.com.br/INSTITUCIONAL/PROJETOS/PROJETO HORIZONTE/FABRICA/Pages/Compostagemderesiduos.aspx>

Reaproveitamento de resíduos. Iguaçu Celulose & Papel. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.iguacucelulose.com.br/meio_amb/reaprov.htm

Instrução Normativa Nº 27, de 05 de Junho de 2006: dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. MAPA –

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=16951>

Proceso de co-compostaje y aplicación de sus productos en paisajismo, reforestación y cultivos forestales y agrícolas en Andalucía. E.M. Rodriguez. CSIC/IRNAS. Apresentação em PowerPoint: 16 slides. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Cooperacion_Internacional_En_Materia_De_Medio_Ambiente/Iniciativas_Comunitarias/Programa_LIFE/LIFE_Medio_Ambiente/Proyectos_aprobados_enejecucion/pdf_compost/IRNAS_1_Mijas_11_03.pdf

Composting pulp and paper industry solid wastes: process design and product evaluation. K.C. Das; E.W. Tollner; T.G. Tornabene. 06 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.p2pays.org/ref/12/11563.pdf>

<http://www.docstoc.com/docs/29636399/Composting-Pulp-And-Paper-Industry-Solid-Wastes-Process-Design>

Manual prático para a compostagem de biossólidos. F. Fernandes; S.M.C.P. Silva. UEL – Universidade Estadual de Londrina. 91 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>

Não custa ser prudente ao dispor lodo de esgoto em solo agrícola. O.A. Camargo. CPDSRA-IAC. Instituto Agrônômico de Campinas. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.iac.sp.gov.br/ECS/WORD/PalestraSENAC.htm>

http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/LodoEsgoto/index.htm

Compostagem de resíduos agroindustriais utilizando tecnologia de compostagem de baixo custo. F. Fernandes; S.M.C.P. Silva. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. 10 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/custo.pdf>

Co-composting paper mill sludges. University of the West of Scotland. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.uws.ac.uk/schoolsdepts/es/environment/summary_cocomp.asp

Composting pulp and paper industry solid wastes: process design and product evaluation. K.C. Das; E.W. Tollner; T.G. Tornabene. P2Pays.com website. 06 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.p2pays.org/ref/12/11563.pdf>

Composting Council of Canada. Compost.org website. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.compost.org/English/ENGLISH_INDEX.htm

<http://www.compost.org/English/qna.html> (25 questões acerca de compostagem)

http://www.compost.org/English/anaerobic_digestion.htm (Digestão anaeróbica)

Alternative construction material from a recycling paper mill sludge.

R.D. Peña. TIPCO. Filipinas. Apresentação em PowerPoint: 15 slides. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.emb.gov.ph/eeid/Presentations_ResWMCon%204&5%20Apr05/Paper%20mill%20sludge.ppt

Composto agrícola Organoeste. Solo Orgânico. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.crea-pr.org.br/crea3/html3_site/doc/TratamentoResiduos/Palestra%20COMPOSTO%20AGRICOLA.pdf

Compostagem. M. Brito. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. Portugal. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.ci.esapl.pt/mbrito/Compostag.htm>

http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_de_compostagem%20capa.htm

(Manual de compostagem)

Usos benéficos de lodos de estações de tratamento de água. D.M. Morita. USP – Universidade de São Paulo. Apresentação em PowerPoint: 54 slides. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/DF6C53CCF001D57A832573F00072C0DD/\\$File/sabesp_lodos_ETA.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/DF6C53CCF001D57A832573F00072C0DD/$File/sabesp_lodos_ETA.pdf)

Uso de resíduos em hortaliças e impacto ambiental. W.J. Melo; M.O. Marques; V.P. Melo; A.A.D. Cintra. UNESP/FCAV. 29 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS/OLERIC.pdf>

Lodo: alternativa a construcciones sustentables. Mari Papel+ Corrugado. Podcast. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.maripapel.com/podcasts/podcast-mari-mayo-10.mp3>

Co-incineração de resíduos industriais em cimenteiras. Centro Científico Independente para a Reflexão Ambiental. Portugal. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://paginas.fe.up.pt/~jotace>

Sludge handling and disposal. Mountain Empire Community College. Acesso em 30.6.2010:

Disponível em:

<http://water.me.vccs.edu/courses/ENV149/disposal.htm>

Wastes studies. European Commission Environment Directorate. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies>

http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/organics_in_sludge.pdf ("Organic contaminants in sewage sludge for agricultural use")

<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/compost/landspreading.htm> ("Survey of wastes spread on land")

Compostagem. Portal Ambiente Brasil. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/coleta_e_disposicao_do_lixo/compostagem.html?query=compostagem

Compostagem - Etapas da decomposição. Descrição das três fases principais do processo de decomposição. Portal Ambiente Brasil. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/coleta_e_disposicao_do_lixo/compostagem_-_etapas_da_decomposicao.html?query=compostagem

Incineração. Portal Ambiente Brasil. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/coleta_e_disposicao_do_lixo/incineracao.html?query=incineracao

Processo de incineração. Portal Ambiente Brasil. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/coleta_e_disposicao_do_lixo/processo_de_incineracao.html?query=incineracao

Incineração. Método contestado. Portal Ambiente Brasil. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/coleta_e_disposicao_do_lixo/incineracao_-_metodo_contestado.html?query=incineracao

Testes de ecotoxicidade. Aplysia. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.aplysia.com.br/site/pt/teste-de-toxicidade.php>

<http://aplysia.com.br/blog>

Escopo de análises ambientais: testes físico-químicos, biensaíes e metais. Bioensaíes. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em

http://www.bioensaíes.com.br/serv_06_01.php

<http://www.bioensaíes.com.br/labs.php> (Laboratórios de ecotoxicidade e ensaios analíticos)

Sludge. Meri Paper. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.meripaper.com/E/equipment/sludge/index.htm>

Sludge teatment. Huber Technology. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.huber.de/products/sludge-treatment.html>

Sludge dewatering. FKC. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.fkcscrowpress.com/sludge1.html>

Compostagem. A arte de transformar o lixo em adubo orgânico.

Website Planeta Orgânico. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.planetaorganico.com.br/composto.htm> (Definições)

<http://www.planetaorganico.com.br/composto2.htm> (Aprendendo a fazer compostagem)

<http://www.planetaorganico.com.br/composto3.htm> (Maturação do composto)

<http://www.planetaorganico.com.br/composto4.htm> (Composteiras)

<http://www.planetaorganico.com.br/trabalhos.htm> (Trabalhos técnicos sobre compostos e compostagem)

<http://www.planetaorganico.com.br/trabJune.htm> (Utilização de resíduos orgânicos na agricultura)

Green guide for food service packaging. VIP Food Service. Website especializado. 12 páginas. Acesso em 25.06.2010:

Disponível em:

<http://www.vipfoodservice.com/Downloads/VIP%20Green%20Product%20Guide.pdf>

Sistemas de desidratação de lodo. Centroprojekt do Brasil. Acesso em 25.06.2010:

Disponível em:

[http://www.centroprojekt-](http://www.centroprojekt-brasil.com.br/pdfs/trat_lodo_jari_celulose_sist_de_desid_de_lodo_huber.pdf)

[brasil.com.br/pdfs/trat_lodo_jari_celulose_sist_de_desid_de_lodo_huber.pdf](http://www.centroprojekt-brasil.com.br/pdfs/trat_lodo_jari_celulose_sist_de_desid_de_lodo_huber.pdf) (Sistema utilizado na empresa de celulose Jari)

[http://www.centroprojekt-](http://www.centroprojekt-brasil.com.br/pdfs/trat_lodo_jari_celulose_sist_de_desid_de_lodo_huber.pdf)

[brasil.com.br/pdfs/trat_lodo_jari_celulose_sist_de_desid_de_lodo_huber.pdf](http://www.centroprojekt-brasil.com.br/pdfs/trat_lodo_jari_celulose_sist_de_desid_de_lodo_huber.pdf) (Sistema utilizado na empresa de celulose e papel da Fibria em Jacareí)

Desidratação de lodos. Tecnologia Geotube. Allonda Geossintéticos Ambientais. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.allonda.com.br/desidratacao.html>

Meio Ambiente – Central de resíduos sólidos. Cambará Produtos Florestais. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.cambarasa.com.br/meio_ambiente.htm

Reaproveitamento de resíduos. Iguazu Celulose. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.iguacucelulose.com.br/meio_amb/reaprov.htm

Tratamento de resíduos e impactos ambientais. C.E. Silva. Notas de Aulas. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/50e659e8d30dbc5b9770f55f0c572b86.htm>

<http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A10.pdf> (Incineração de resíduos)

Produtos do PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm> (Livros e vídeos)

Press screw separator. Treatment of rejects, sludges, fibres, waste water. Fan Separator. Acesso em 26.06.2010:

Disponível em:

<http://www.fan-separator.com>

<http://www.fan-separator.com/c0202.html>

K-S sludge dryer. Komline-Sanderson. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

http://www.komline.com/docs/sludge_dryer.html

Thermal drying technologies. Andritz. Website especializado. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.andritz.com/ep-thermal-brochure-overview-e.pdf>

Sludge drying. A. Flaga. KTH – Royal Institute of Technology. 10 pp. Acesso em 30.06.2010:

Disponível em:

<http://www.lwr.kth.se/forskningsprojekt/Polishproject/rep13/Flagasludgedrying73.pdf>

De resíduo a produto útil para a floresta. C. Martin. O Papel (Junho): 46-48. (2010)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Reciclagem%20res%EDduos%20por%20compostagem.pdf>

Retrospectiva de 100 anos de progresso na fabricação de papel. (Looking back on 100 years of progress in papermaking). H. Holik. O Papel 71(2): 51-73. (2010)

Disponível em:

http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1269368330_2e3c9757a0cdc1c0f148176bef3e779c_1027072928.pdf

Regulation respecting the landfilling and incineration of residual materials. Environment Quality Act. Quebec Canada. (2010)

Disponível em:

http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R6_02_A.htm

Ciclagem de nutrientes e metais pesados em plantios de *Eucalyptus grandis* adubados com lodos de esgoto produzidos em diferentes estações de tratamento da região metropolitana de São Paulo. A.V. Ferraz. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP – Universidade de São Paulo. 121 pp. (2010)

http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=171272

<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp122549.pdf>

Louça sanitária verde: relação entre porosidade final e a presença de resíduos da indústria de papel na composição de massas cerâmicas para a produção de louça sanitária. L.S. Nascimento. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 107 pp. (2010)

Disponível em:

<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/24072/1/Leonardo.pdf>

Incorporação de lodo de estações de tratamento de água (ETAs) em tijolos de solo-cimento como forma de minimização de impactos ambientais. M.R. Silva. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Aracruz. 85 pp. (2009)

Disponível em:

http://www.faacz.com.br/mestrado/links/dissertacoes_defendidas/2009/pdf/manoel_rodrigues_da_silva_mpta_faacz_2009.pdf

Biocontrole de doenças de plantas. Usos e perspectivas. W. Bettiol; M.A.B. Morandi. Embrapa Meio Ambiente. 334 pp. (2009)

Disponível em:

http://www.cnpma.embrapa.br/download/livro_biocontrole.pdf

Central de compostagem. Conpacel – Consórcio Paulista de Papel e Celulose. 23 pp. (2009)

Disponível em:

http://www.fiesp.com.br/arquivos/2009/premio_merito/conpacel.pdf

<http://www.conpacel.com.br/projetocompostagem.asp>

http://www.ripasa.com.br/noticia_destaque_home_1.asp

Benefícios do uso de bio sólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. A. Assenheimer. *Ambiência* 5(2): 321-330. (2009)

Disponível em:

<http://www.unicentro.br/editora/revistas/ambiencia/v5n2/nota%201.pdf>

A Convenção de Estocolmo e a indústria de celulose e papel. Parte I.

(The Stockholm Convention and the pulp and paper industry. Part I).

E.M.P.N. Canizares; C.A. Zini. *O Papel* 70(4): 51-63. (2009)

Disponível em:

[http://www.revistaopapel.org.br/noticia-](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1249754030_dc127683017196da0f765a7816c806af_1594352678.pdf)

[anexos/1249754030_dc127683017196da0f765a7816c806af_1594352678.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1249754030_dc127683017196da0f765a7816c806af_1594352678.pdf)

A Convenção de Estocolmo e a indústria de celulose e papel. Parte II.

(The Stockholm Convention and the pulp and paper industry. Part II).

E.M.P.N. Canizares; C.A. Zini. *O Papel* 70(5): 43-55. (2009)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/Arquivo%2004_pops%202.pdf

As implicações da Convenção de Estocolmo para a indústria de celulose e papel. E.M.P.N. Canizares; C.A. Zini. Position Paper ABTCP. 51 pp. (2009)

Disponível em:

<http://www.abtcp.com.br/arquivos/File/pops.pdf>

Ferramentas de controle ambiental utilizadas por fábricas de celulose e papel. T.H. Furley. 09 pp. (2009)

Disponível em:

<http://www.aplysia.com.br/site/doc/Aplysia-Ferramentas-de-controle-ambiental-10-12-09.pdf>

Cinética da digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais. W.R. Silva. Tese de Doutorado. UFPB - Universidade Federal da Paraíba. 201 pp. (2009)

Disponível em:

http://www.quimica.ufpb.br/posgrad/teses/Tese_Wellington_Regis_Silva.pdf

Guidelines for composting facilities and compost use in Ontario Canada. Ministry of Environment. 134 pp. (2009)

Disponível em:

http://www.ene.gov.on.ca/envision/env_reg/er/documents/2009/010-6658.pdf

Mudanças nos atributos químicos do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizados com composto de resíduos da indústria de celulose e papel. P. Fortes Neto; A.A.S. Almeida; A.G.M.C. Bassa; C.R. Silva; D.D. Patrocínio. II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul. 08 pp. (2009)

Disponível em:

<http://www.ipabhi.org/serhidro/anais/anais2009/doc/pdfs/p62.pdf>

High performance biomass boilers for green energy production. S. Hulkkonen; T. Kauranen. TAPPSA - South Africa Pulp and Paper Journal. (2009)

Disponível em:

http://www.tappsa.co.za/html_index_links/html_issue_Nov_09/biomass_boilers.html

Estudo da Embrapa mostra que uso de lodo de esgoto como adubo para cultura agrícola pode contaminar o solo. F. Castro. Agência FAPESP. Portal EcoDebate. (2009)

Disponível em:

<http://www.ecodebate.com.br/2009/09/15/estudo-da-embrapa-mostra-que-uso-de-lodo-de-esgoto-como-adubo-para-cultura-agricola-pode-contaminar-o-solo>

Produção de madeira e elementos potencialmente tóxicos no sistema solo-eucalipto tratado com lodo de esgoto. L.P. Firme. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 83 pp. (2009)

Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-11122009-152455>

Efeito da aplicação de fertilização nitrogenada e lodo de esgoto nas características da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*. C.R. Sette Jr.; M. Tomazello Filho; J.L. Lousada; J.P. Laclau. Cerne 15(3): 303-312. (2009)

Disponível em:

<http://www.dcf.ufra.br/cerne/artigos/08-01-2010291807%20artigo%20634.pdf>

Produção de óleo essencial e balanço nutricional em *Corymbia citriodora* adubado com lodo em diferentes espaçamentos. P.H.M. Silva; F. Poggiani; J.L. Stape; J.O. Brito; R.M. Moreira. Cerne 15(3): 346-354. (2009)

Disponível em:

<http://www.dcf.ufra.br/cerne/artigos/08-01-20107539012%20artigo%20637.pdf>

Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. ABRELPE. 210 pp. (2009)

Disponível em:

<http://www.globalgarbage.org/Panorama2009.pdf>

Comportamiento físico-mecánico y durabilidad de mezclas basadas en cemento Pórtland y lodos del destintado del papel activados térmicamente. I. Vegas. Labein Tecnalia. Espanha. (2009)

Disponível em:

<http://www.labein.es/labeinweb/Sectores.nsf/vwCAVerProyectos/7C12427AE77E1A0AC12575D8005024C0?OpenDocument>

Residual materials: instead of disposal, generate energy. A. Hass. Voith Paper. Together 28: 04-11. (2009)

Disponível em:

http://www.voithpaper.com/media/28_twogether_E.pdf

Management of paper mill sludges. B. Laughlin. TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference. 11 pp. (2009)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/01_management%20paper%20sludge.pdf

Micronutrientes, metais pesados tóxicos e biofortificação. M.F. Moraes. Simpósio ANDA/ICZ. Apresentação em PowerPoint: 35 slides. (2009)

Disponível em:

http://www.anda.org.br/artigos/Palestra_Moraes.pdf

Seleção de métodos biológicos para a avaliação toxicológica de efluentes industriais. C.F. Rubinger. Dissertação de Mestrado. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. 89 pp. (2009)

Disponível em:

<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/438M.PDF>

Aproveitamento de resíduos provenientes de sistemas agrícolas – Compostagem. E.A. Formentini. Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. (2009)

Disponível em:

http://www.fundagres.org.br/eventos/cbro2009_palestras/Edegar%20Formentini.pdf

Uso e disposição de resíduos orgânicos no solo. M.S. Coelho; E.S. Mendonça; A.M.X. Carvalho. Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Apresentação em PowerPoint: 32 slides. (2009)

Disponível em:

http://www.fundagres.org.br/eventos/cbro2009_palestras/Marino_Salgarello_Coelho.pdf

Disposição de resíduos na agricultura: lodo de esgoto como fonte de nutrientes. B.M. Serrat; S. Bittencourt; C.V. Andreoli; L.A.T.P. Silva; T.R. Santiago. Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2009)

Disponível em:

http://www.fundagres.org.br/eventos/cbro2009_palestras/Beatriz_Monte_Serrat.pdf

Mineralização de carbono e nitrogênio do lodo biológico gerado na indústria de celulose e papel e sua eficiência agrônômica. R.P. Martins. Dissertação de Mestrado. IAC – Instituto Agronômico de Campinas. 109 pp. (2009)

Disponível em:

<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp096352.pdf>

Comparação do uso agrícola de resíduos de celulose e a legislação internacional. R. Maltz. 41º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2008)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Comparacao_uso_agricola.pdf

Influência da granulometria do resíduo de celulose nas propriedades do material cerâmico. (Influence of the particle size of cellulose waste in ceramic material properties). D. Collatto; C.P. Bergmann; M.V.C. Ramires. Estudos Tecnológicos Unisinos 4(1): 01-11. (2008)

Disponível em:

<http://www.estudostecnologicos.unisinos.br/pdfs/80.pdf>

Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Firing installations for wood and other biomass fuels. Secretariat of the Stockholm Convention on POPs - Persistent Organic Pollutants. 27 pp. (2008)

Disponível em:

http://chm.pops.int/Portals/0/Repository/batbep_guideline08/UNEP-POPS-BATBEP-GUIDE-08-10.English.PDF

Demanda potencial por lodo de esgoto (biossólido) em plantios de eucaliptos no entorno da região metropolitana de São Paulo. L.C. Faria; L.C.E. Rodriguez. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 7(12). 21 pp. (2008)

Disponível em:

<http://www.revista.inf.br/florestal12/pages/artigos/REEF-ANOVII-VOL12-ART06.pdf>

Reciclagem do lodo primário da estação de tratamento de efluentes de indústria de papel em cerâmica vermelha. R.M. Pinheiro. Dissertação de Mestrado. UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense. 120 pp. (2008)

Disponível em:

http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=120037

<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp071067.pdf>

Avaliação ecotoxicológica de efluentes de celulose branqueada de eucalipto ao longo do tratamento biológico. D.V.R. Martins. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 85 pp. (2008)

Disponível em:

http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/42/TDE-2009-06-18T081511Z-1687/Publico/texto%20completo.pdf

Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. (Sewage sludge recycling in eucalypt plantation: carbon and nitrogen). A.C.S. Lira; M.C. Guedes; V. Schalch. Engenharia Sanitária Ambiental 13(2): 207-216. (2008)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n2/a11v13n2.pdf>

Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose. R.E.S. Miranda. Monografia de Conclusão de Curso. UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 37 pp. (2008)

Disponível em:

http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia_Roselane.pdf

Guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose. A.H.C.B. Souza. Série P+L CETESB. 50 pp. (2008)

Disponível em:

http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/papel.pdf

Determination of the mineral constituents of recycled paper mill sludge. S. G. Krigstin; M. Sain. Tappi Journal (Junho): 09-14. (2008)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Enzimas no solo. W.J. Melo; G.M.P. Melo; V.P. Melo. Mini-curso FertBio 2008. Apresentação em PowerPoint: 125 slides. (2008)

Disponível em:

<http://www.fcav.unesp.br/wjmelo/TEXTOS/FERTBIO2008.pdf>

Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. ABRELPE. 196 pp. (2008)

Disponível em:

http://www.silvaporto.com.br/admin/downloads/PANORAMA_RESIDUOS_SOLIDOS_BRASIL_2008.pdf

Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto. V.C.M. Barretto. Tese de Doutorado. UNESP – Campus de Jaboticabal. 73 pp. (2008)

Disponível em:

<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/d/1973.pdf>

http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=126999

Aprovechamiento integral de fangos procedentes de la fabricación de papel como carga de materiales plásticos compuestos. (Integral use of sludge coming from paper mill as a filler of plastic compounds). P. Mutjé; J. Pantín; J.P. López; L. Barberà, M. Caner; J. Flandez; M. Pèlach; G. Pardini. V CIADICYP. México. 08 pp. (2008)

Disponível em:

<http://www.riadicyp.org.ar/downloads/ciadi2008/prevencion%20y%20contaminacion01.pdf>

Avaliação do comportamento e da microestrutura de uma cerâmica vermelha incorporada com lodo gerado na indústria de celulose e papel. R.M. Pinheiro; C.M.F. Vieira; S.N. Monteiro; R.J. Sánchez. 18º CEBCimat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. (2008)

Disponível resumo em:

http://www.metallum.com.br/18cbecimat/resumos_ceramicos2.asp?Id=487

Compostagem. E.C.A. Oliveira; R.H. Sartori; T.B. Garcez. ESALQ/USP. 19 pp. (2008)

Disponível em:

http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf

Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. J.A.G.O. Alda. Resources, Conservation and Recycling 52(7): 965-972. (2008)

Disponível resumo em:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VDX-4S6GRS6-2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=e87fb8118358e3ada4201ac62e72ef5a

Caracterização e estudo da potencialidade de lodos de efluentes doméstico e industrial como combustível na geração de energia. F. Borges. Dissertação de Mestrado. UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville. 74 pp. (2008)

Disponível em:

http://univille.edu.br/community/mestrado_ep/VirtualDisk.html?action=downloadFile&file=Dissertacao_Fabricio_Borges.pdf¤t=/Dissertacoes_Turma+I

Avaliação de impactos ambientais na produção de papel. U.C. Cinque. EcoForum ANAVE. Apresentação em PowerPoint: 22 slides. (2008)

Disponível em:

<http://www.anave.org.br/ecoforum2008/pdf/Umberto%20Caldeira%20Cinque.pdf>

Higher efficiency power production from biomass and waste. L.P.L.M Rabou; R.J.C. van Leijenhurst; J.H.O. Hazewinkel. ECN – Energy Research Centre of Netherlands. 69 pp. (2008)

Disponível em:

<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2008/e08086.pdf>

Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia. (Characterization and evaluation of sewage and industrial sludges as biomass in the energy generation process). F. Borges; N. Sellin; S.H.W. Medeiros. Ciência & Energia 17(1/2): 27-32. (2008)

Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/viewFile/730/1770>

<http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/downloadSuppFile/730/22>

Energy from biomass in pulp and paper mills. D. Gravilescu. Environmental Engineering and Management Journal 7(5): 537-546. (2008)

Disponível em:

http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/pdfs/vol7/no5/9_Gavrilescu_D.pdf

Estudo da estabilização de lodo oriundo da estação de tratamento de água (ETA) de Taiaçupeba para utilização com material em aterro de valas. (Stabilization of sludge from water treatment plant – WTP - in Taiaçupeba to use as compacted soil). R.M. Fortes; J.V. Meregui; D.R. Pauli; M.A.L. Barros; M.H. Carvalho; N.C. Menetti; A.S. Barbosa; F.V. Ribeiro; B.B. Bento. CONINFRA – Congresso de Infra-Estrutura de Transportes. 17 pp. (2008)

Disponível em:

<http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/publicacoes/02-005.pdf>

Reciclagem de resíduo proveniente da fabricação de papel em cerâmica vermelha. R.M. Pinheiro; C.M.F. Vieira; R.S. Rodriguez; S.N. Monteiro. Revista Matéria 13(1): 220-227. (2008)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v13n1/a27v13n1.pdf>

Análises térmica e de sólidos como ferramenta para caracterização e identificação do potencial energético de lodos de estações de tratamento de efluentes. P.G.M. Araújo; N. Sellin. XVI Encontro de Química da Região Sul. 02 pp. (2008)

Disponível resumo em:

http://www.furb.br/temp_sbqsul/_app/_FILE_RESUMO_CD/954.pdf

Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água. (Pollutant gas analysis evolved during firing of red ceramic incorporated with

water treatment plant sludge). V. P. Souza; R. Toledo; J. N. F. Holanda; H. Vargas; R. T. Faria Jr. Cerâmica 54: 351-355. (2008)
Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n331/a1354331.pdf>

Produção e uso do composto de casca de *Pinus*. E. Foelkel. PinusLetter. Edição nº 11. (2008)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_11.html#cinco

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

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

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

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 02: Fatores de sucesso para seu gerenciamento. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book Capítulo nº 13. 128 pp. (2008)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT13_Residuos02.pdf

Resíduos sólidos industriais da produção de celulose kraft de eucalipto. Parte 01: Resíduos orgânicos fibrosos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book Capítulo nº 05. 78 pp. (2007)
Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT05_residuos.pdf
http://www.ufsm.br/dcdf/seriestecnicas/capitulo_residuos.pdf

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

Compostagem – uma prática ambiental sustentável. H. Santos. Rhodia. 12 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.advancesincleanerproduction.net/first/textos%20e%20arquivos/CongressoUNIP/Oralpresentations/OP4A/OP4A6/Hidejal%20Santos%20-%20Presentation.pdf>

Efeito da aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no crescimento e propriedades da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. C.R. Sette Jr. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 153 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-03072007-105132>

Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais. L.N. Silva. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 70 pp. (2007)

Disponível em:

http://tede.unioeste.br/tede//tde_arquivos/1/TDE-2008-01-31T100048Z-169/Publico/Lucimar%20Novaes%20da%20Silva.pdf

Paper sludge and paper sludge ash in Portland cement manufacture.

A.M. Dunster. MinRes. 08 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Portland_cement_paper_sludge.pdf

Efeito do resíduo de celulose e esterco no solo sobre o desenvolvimento do milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*).

A.S.V. Costa; J.C.M. Rufini; M.B. Silva; E.R. Galvão; J.M.O. Ribeiro. Cerne 54(314): 339-344. (2007)

Disponível em:

<http://www.ceres.ufv.br/CERES/revistas/V54N314P04607.pdf>

Caracterização de resíduo de papel. R.M. Pinheiro; C.M.F. Vieira; R. Sánchez; S.N. Monteiro. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 11 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.abceram.org.br/51cbc/artigos/51cbc-14-23.pdf>

Biosolids treatment processes. L. K. Wang; N.K. Shammass; Y.-T. Hung. Handbook of Environmental Engineering. Volume 6. 817 pp. (2007)

Disponível em:

http://books.google.com.br/books?id=77o7j7fq5F0C&pg=PA430&dq=%22SLUDGE+dewatering%22+wpcf+manual&hl=pt-BR&ei=2GZ2TK_zH8L78Abv9amqBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CEcQ6AEwBA#v=onepage&q=%22SLUDGE%20dewatering%22%20wpcf%20manual&f=false

e

<http://www.springerlink.com/content/978-1-58829-396-1/#section=333746&page=35&locus=37>

Production of dioxins with special regard to furnaces using renewable energy. I. Patkó; Z. Juvanez; M.S. Túri. 8th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics. 18 pp. (2007)

Disponível em:

http://uni-obuda.hu/conferences/cinti2007/31_PatkoIstvan.pdf

Utilização de rejeitos da indústria de celulose e papel na confecção de placas cerâmicas laminadas. D.F.G. Papafanurakis; A.R.V. Silva; A.P. Soares; R.S. Macedo. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 12 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.abceram.org.br/51cbc/artigos/51cbc-3-42.pdf>

A substituição de argila por lodo de ETA na produção de cerâmica vermelha. E. Wolff; W.K. Schwabe; A.B. Landim; M.D. Vitorino; W.L. Santos. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 10 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.abceram.org.br/51cbc/artigos/51cbc-14-29.pdf>

Reciclagem de resíduos industriais em materiais cerâmicos. V.M.T. Júnior; V. Mymrine; R.A.C. Ribeiro; H.A. Ponte. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 11 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.abceram.org.br/51cbc/artigos/51cbc-14-42.pdf>

Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose.

(Evaluation of biological and physico-chemical quality of the compost produced from pulp mill residues). M.A.S.L. Guerra. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 70 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=947

Produção de mudas de eucalipto em substratos obtidos a partir de resíduos agroindustriais, compostados e vermicompostados. I.R.C. Krolow. Dissertação de Mestrado. UFPEL – Universidade Federal de Pelotas. 74 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.ufpel.edu.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=404

Atividade microbiana em um latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. G. Colodro; C.R. Espindola; A.M.R. Cassiolato; M.C. Alves.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 11(2): 195-198. (2007)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n2/v11n2a10.pdf>

Actas del Segundo "Simpósio Internacional de Suelos, Ecología y Medio Ambiente". Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 458 pp. (2007)

Disponível em:

<http://rrnn.agroindustria.dm.cl/download.php?id=506410c7935ef91&d=1w57w8935wd>

Compósitos cimentícios produzidos a partir de resíduos da indústria de papel. S.N. Paiva; A.M. Nolasco. Patente Brasileira INPI nº PI0701465-1. (2007)

Disponível em:

<http://www.patentesonline.com.br/compositos-cimenticios-produzidos-a-partir-de-residuos-da-industria-de-papel-188331a.html>

Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil. S.N. Paiva. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP – Universidade de São Paulo. 111 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.dominipublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=82470

<http://www.dominipublico.gov.br/download/texto/cp035195.pdf>

Lodo... indesejado e malquisto? Andritz & Stora Enso Hylte. Fiber Spectrum 16. (2007)

Disponível em:

http://spectrum.andritz.com/pt/archive/archive-online/iss_16/art_16_12.htm

Alterações químicas no solo e na água de percolação após aplicação de resíduos de papel reciclado em *Pinus taeda*. E.R.O. Costa. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 138 pp. (2007)

Disponível em:

<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/13523/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20EPITAGORAS%20COSTA%202007%20%20UFPR.pdf>

Regulamentação de insumos agrícolas. Fertilizantes orgânicos, condicionadores de solos e substratos. H.J. Coelho. Workshop "Insumos para a produção orgânica". Embrapa Meio Ambiente. Apresentação em PowerPoint: 39 slides. (2007)

Disponível em:

http://www.cnpma.embrapa.br/eventos/2007/workshop/organica/download/insumos_fertilizantes.pdf

Characteristics of paper mill sludge and its utilization for the manufacture of Medium Density Fiberboard. X. Geng; S. Y. Zhang;; James Deng. Wood and Fiber Science 39(2): 345-351. (2007)

Disponível em:

<http://swst.metapress.com/content/d764ux62528n822t>

Controle ambiental e sanitário na produção e utilização de composto orgânico produzido a partir de resíduos de fábrica de celulose.

M.A.S.L. Guerra; C.M. Silva; H.A.V. Rossoni; A. Rezende; A.B. Landim; S.T. Carvalho. 40º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (2007)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/11_Composto_org%E2nico_Cenibra.pdf

Thirteen common myths of composting. Earth911. (2007)

Disponível em:

<http://earth911.com/news/2007/04/02/thirteen-common-myths-of-composting>

A new approach to paper mill sludge. Final report. Wrap – Material Change for Better Environment. 102 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.wrap.org.uk/downloads/MSP002_Final_Report_April_2007.1785a2c4.3674.pdf

Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos.

(Application of sludge from cellulose treatment plant: Effect in some physical and chemical properties of volcanic soils). C. Aravena; C. Valentin; M.C. Diez; M. L. Mora; F. Gallardo. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 7(1): 01-14. (2007)

Disponível em:

<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v7n1/art01.pdf>

Utilización de lodo de depuradora urbana como componente de sustrato para la obtención de planta forestal de *Eucalyptus globulus*. A.R. Rodríguez; M.R.M. Losada. Boletim CIDEU nº 3. 10 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.uhu.es/cideu/Boletin/Boletin3/BolInf3CIDEU145-154.pdf>

Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. (Uso agrícola dos efluentes de tratamento de esgoto: implicações agrônomo-ambientais e perspectivas para o Brasil). A. F. Fonseca; U. Herpin; A.M. Paula; R.L. Victória; A.J. Melfi. Scientia Forestalis 64(2):194-209. (2007)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/sa/v64n2/a14v64n2.pdf>

Uso de biossólido em plantios florestais. S.P. Moraes Neto; C.H. Abreu Jr.; T. Muraoka. EMBRAPA Cerrados. Documentos 202. 24 pp. (2007)
Disponível em:
www.cpac.embrapa.br/download/1215/t

Nitrogênio e metais pesados no solo e em árvores de eucalipto decorrentes da aplicação de biossólido em plantio florestal. (Nitrogen and heavy metals in soil and *Eucalyptus* trees due to biosolid application). M. Velasco-Molina; M. E. Mattiazzi; C. A. Andrade; F. Poggiani. Scientia Forestalis 71: 25-35. (2006)
Disponível em:
<http://www.ipecf.br/publicacoes/scientia/nr71/cap03.pdf>

A gestão do design na otimização do uso de recursos naturais. O eucalipto e a produção de papel e celulose. C.R. Barroso. Monografia de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Belas Artes de São Paulo. 113 pp. (2006)
Disponível em:
<http://www.kriyadesign.com.br/gestaodedesign.pdf>

Pulp and paper mill by-products as soil amendments and plant nutrient sources. J.J. Camberato; B. Gagnon; D.A. Angers; M.H. Chantigny; W.L. Pan. Canadian Journal of Soil Science. 14 pp. (2006)
Disponível em:
<http://www.pnw-winderosion.wsu.edu/Docs/Publications/06%20pubs/PulpPan.pdf>

Tratamento de resíduos no processo de fabricação de papel reciclado em indústria de Santa Catarina. A.V. Gallon; F.L. Salomoni; I.M. Beuren. XXVI ENEGEP. 09 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520347_7381.pdf

Análise térmica e ambiental da queima do lodo primário da fabricação de papel e celulose em caldeira de biomassa à grelha. J.C.F. Macedo. Dissertação de Mestrado. UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. 216 pp. (2006)
Disponível em:
http://www.dominipublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=98222
<http://www.dominipublico.gov.br/download/texto/cp047773.pdf>

Uso de resíduos em plantios florestais: presente e futuro. I.A. Guerrini. Simpósio Biossólidos IPEF. Apresentação em PowerPoint: 40 slides. (2006)
Disponível em:
http://www.ipecf.br/eventos/2006/biossolidos/Simposio_Biossolidos_03.pdf

A experiência da Suzano Papel e Celulose com o uso de biossólido em plantios de eucalipto. J.L. Gava; F.C. Oliveira. Simpósio BioSSólidos IPEF. Apresentação em PowerPoint: 26 slides. (2006)

Disponível em:

http://www.ipef.br/eventos/2006/biossolidos/Simposio_Biossolidos_07.pdf

Compostagem de resíduos de fábrica de celulose e papel. A.G.M.C. Bassa; I.A. Guerrini; C.F. Valle; L. Corradini. Simpósio BioSSólidos IPEF. Apresentação em PowerPoint: 41 slides. (2006)

Disponível em:

http://www.ipef.br/eventos/2006/biossolidos/Simposio_Biossolidos_12.pdf

Carretas distribuidoras de resíduos e compostagens em solos florestais. Aerador Máquinas e Implementos Agrícolas. Simpósio BioSSólidos IPEF. Apresentação em PowerPoint: 22 slides. (2006)

Disponível em:

http://www.ipef.br/eventos/2006/biossolidos/Simposio_Biossolidos_14.pdf

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book Capítulo nº 01. 109 pp. (2006)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

Manejo e operação da Central de Compostagem na Votorantim Celulose e Papel. L. Corradini. Simpósio BioSSólidos IPEF. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. (2006)

Disponível em:

http://www.ipef.br/eventos/2006/biossolidos/Simposio_Biossolidos_13.pdf

Métodos para reabilitação de solo reconstruído após mineração de carvão. A. Lunardi Neto. Dissertação de Mestrado. UESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. 83 pp. (2006)

Disponível em:

<http://www.dominipublico.gov.br/download/texto/cp001364.pdf>

Aplicação foliar de fertilizante organomineral e soluções de ácido húmico em soja sob plantio direto. V.M. Benites; J.C. Polidoro; C.C. Menezes; M. Betta. Embrapa Solos. Circular Técnica 35. 06 pp. (2006)

Disponível em:

http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/circtec35_2006_fertilizante.pdf

Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. M.A.R. Salinas; A.C. Vázquez. SERMANAT/INE/GTZ. México. 104 pp. (2006)

Disponível em:

<http://www.resol.com.br/cartilha5/Manual%20de%20Compostaje-SERMANAT-Mexico.pdf>

Caracterização laboratorial da geração de metano e dióxido de carbono em lodo de fábrica de celulose. P. Oliveira. Dissertação de Mestrado. ULBRA – Universidade Luterana do Brasil. (2006)

Disponível em:

<https://memphis.ulbranet.com.br/BIBLIO/PPGEAM088.pdf>

Compostagem para a agricultura biológica. L.M. Brito. Escola Superior Agrária Ponte de Lima. Portugal. 21 pp. (2006)

Disponível em:

<http://www.ci.esapl.pt/mbrito/Manual%20de%20AB%20%20compostagem.pdf>

Resíduos sólidos. Compostagem. S.T. Carvalho; M.A. Guerra. ABTCP/CENIBRA. Apresentação em PowerPoint: 33 slides. (2006)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10_Compostagem_Cenibra.pdf

A review of secondary sludge reduction technologies for the pulp and paper industry. T. Mahmood; A. Elliott. Water Research 40(11): 2093-2112. (2006)

Disponível resumo em:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V73-4JYKMMD-1&_user=10&_coverDate=06%2F30%2F2006&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=article&_cdi=5831&_sort=v&_docanchor=&view=c&_ct=1071&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=1eb2c73567edcf0b3b94c410ca0c4fcf

Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos da indústria de celulose kraft na produção de corpos cerâmicos. L.S. Caux. Monografia de Conclusão de Curso. UNILESTE MG. 74 pp. (2006)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/01_VIABILIDADE%20UTILIZA%C7%C3O%20RESIDUOS%20INDUSTRIA%20DE%20CELULOSE%20PARA%20CERAMICAS.pdf

Uso de lodo de esgoto no sistema plantio direto. L.A.C. Lucchesi, 10º Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. Portal EcoTerra Brasil. (2006)

<http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&cd=1406>

Cerâmica vermelha incorporada com lodo de ETA. J.I. Margem; J. Alexandre; C.M.F. Vieira; S.N. Monteiro. 17º CEBCIMat. 09 pp. (2006)

Disponível em:

<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-102-036.pdf>

Incorporação de resíduo de ETAs em cerâmica vermelha. E.M.S. Oliveira; V.G. Sampaio; J.N.F. Holanda. 17º CEBCIMat. 08 pp. (2006)

Disponível em:

<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-112-003.pdf>

Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. (Effect of the addition of sludge from water treatment plants on the properties of structural ceramic material). S.R. Teixeira; S.A. Souza; N.R. Souza; P. Aléssi; G.T.A. Santos. Cerâmica 52: 215-220. (2006)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n323/32092.pdf>

Pré-tratamento de lodos biológicos gerados nos processos de lodos ativados para aumento de sua biodegradabilidade através de hidrólises enzimática, térmica e alcalina. S.Y. Takemoto. Tese de Doutorado. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. 242 pp. (2006)

Disponível em:

<http://www2.enq.ufsc.br/teses/d034.pdf>

Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. (Chemical traits alteration of an acid soil by lime and recycling paper residue application). A. A. Balbinot Júnior; A. N. L. Torres; J. A. Fonseca; J. R. Teixeira; C.N. Nesi. Revista de Ciências Agroveterinárias 5(1): 16-25. (2006)

Disponível em:

http://rca.cav.udesc.br/rca_2006_1/alvadi2.pdf

A review of secondary sludge reduction technologies for the pulp and paper industry. T. Mahmood; A. Elliott. Water Research 40: 2003-2112. (2006)

Disponível em:

<http://infolib.hua.edu.vn/Fulltext/ChuyenDe2009/CD308/6.pdf>

Biosolids production with solid wastes generated in Cenibra's hardwood kraft pulp mill. S.T. Carvalho; M.A.S.L. Guerra; A.B. Landim; A.R. Almeida; D.L.V. Anicio; L.M. Pimenta; R.C. Félix; M.D. Vitorino. Congresso Vitória 2006. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2006)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07_Biossolids_production_with_solid_wastes_Cenibra.pdf

Caracterização do lodo gerado na estação de tratamento de água da Cenibra. W.K. Schawbe; A.B. Landim; M.D. Vitorino. 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. 07 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-148.pdf>

Módulo para compostagem rápida de resíduos orgânicos na pequena propriedade. C.A. Ferreira; H.D Silva; G.C. Andrade. Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 21. 24 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/bolpesdes/edicoes/BPD21.pdf>

Utilização de lodo proveniente das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) na produção de cerâmica vermelha. A.S.A. Chinelatto; A.L. Chinelatto; F. Krubiniki; H.F. Nasr. Poster. 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. (2005)

Disponível em:

http://www.abceram.org.br/asp/49cbc/49cbc_resap3_info.asp?pri=5&sec=5-47

Avaliação energética do cultivo de eucalipto com e sem composto de lixo urbano. C.R. Moreira; I.A. Guerrini; M.A.M. Biaggioni. Energia Agrícola 20(4): 01-19. (2005)

Disponível em:

http://www.fca.unesp.br/CD_REVISTA_ENERGIA_vol4/vol20n42005/artigos/Carlos%20Roberto%20Moreira.pdf

Desidratação de lodos de estação de tratamento de água. E.M. Ferranti. Dissertação de Mestrado. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 116 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4465/000501570.pdf?sequence=1>

Proposed landspreading of pulp mill waste in British Columbia. Reach for Unbleached Foundation . (2005)

Disponível em:

<http://www.rfu.org/cacw/pollutionSludge2.htm>

Efeito da data de coleta de lodo de ETA nas propriedades físicas de corpos de prova cerâmicos com lodo incorporado. P. Aléssio; S.R. Teixeira. Poster. 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. (2005)

Disponível em:

http://www.abceram.org.br/asp/49cbc/49cbc_resap3_info.asp?pri=5&sec=5-41

Aproveitamento de resíduo florestal para húmus. C.M. Branco; C.R. Budziak; R.E. Paixão; A.S. Mangrich. REMADE - Revista da Madeira nº 89. (2005)

Disponível em:

http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=738&subject=E%20mais&title=Aproveitamento%20de%20res%EDduo%20florestal%20para%20h%Famus

Modificações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. R.M. Barreiros. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 112 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-03042006-152746>

Advanced technology for effluent treatment and sludge dewatering. Veolia Environment. 38º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 96 slides. (2005)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/01_ADVANCED_TECHNOLOGY_FOR_EFFLUENT_TREATMENT_AND_SLUDGE_DEWATERING.pdf

Estudo de viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico. N. Campregher. Dissertação de Mestrado. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. 84 pp. (2005)

Disponível em:

http://www.dominipublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=151552

<http://www.dominipublico.gov.br/download/texto/cp102787.pdf>

<http://www.tede.ufsc.br/teses/PENQ0173.pdf>

Lodo de esgoto tratado (biossólido) em plantações florestais. P.H.M. Silva; F. Poggiani. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (2005)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/silvicultura/lodo.asp>

Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto. G. Colodro. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 102 pp. (2005)

Disponível em:

<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000374577>

Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis*. M.C. Guedes. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 169 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-09112005-134208>

Standardized toolkit for identification and quantification of dioxin and furan releases. UNEP Chemicals. United Nations Environment Programme. 250 pp. (2005)

Disponível em:

http://www.pops.int/documents/guidance/toolkit/en/Toolkit_2005_En.pdf

Standardized toolkit for identification and quantification of dioxin and furan releases. Emission factors for the toolkit. UNEP Chemicals. United Nations Environment Programme. Tabelas e planilhas em Excel. (2005)

Disponível em:

http://www.pops.int/documents/guidance/toolkit/en/Emission%20Factors_2005.xls

Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa. UNEP Chemicals. United Nations Environment Programme. 42 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/cpf/Informe%20Biomasa.pdf>

Pulp and paper sludge to energy. CANMET Energy Canada/ADI. 216 pp. (2005)

Disponível em:

http://www.cifq.qc.ca/imports/_uploaded/PPsludge.pdf

http://www.cifq.qc.ca/imports/_uploaded/pdf_4384e2b99ff25.pdf

Tratamento de resíduos agroindustriais. A.T. Matos. Curso FEAM-Fundação Estadual do Meio Ambiente. 34 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.ufv.br/dec/simea/apresentacoes/CursoMatosFEAM2005.pdf>

Co-composting paper mill sludge with fruit and vegetable wastes. P. Tucker. University of Pailey. 180 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.uws.ac.uk/schoolsdepts/es/environment/documents/Co-composting%20Paper%20Mill%20Sludges.PDF>

Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto.

(Organic matter quality and carbon and nitrogen stocks in an oxisol treated with biosolids and cultivated with *Eucalyptus*). C.A. Andrade; C. Oliveira; C.C. Cerri. Revista Brasileira de Ciência do Solo 29(5). 14 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n5/27892.pdf>

Reject disposal from recycled fibre plants. M. Ronga; C. Brauer. TAPPSA African Pulp and Paper Week. (2004)

Disponível em:

http://www.tappsa.co.za/archive2/APPW_2004/Title2004/Reject_disposal/reject_disposal.html

Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda*. C.M. Rodrigues. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 121 pp. (2004)

Disponível em:

http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/1637/1/Dissertacao_Celina.pdf

Nitrogênio e metais pesados em latossolo e eucalipto cinquenta e cinco meses após a aplicação de bio sólido. M.V. Molina. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 81 pp. (2004)

Disponível em:

http://www.biossola.com.br/artigos_tecnicos_cientificos/marta.pdf

Use of pulp and paper mill residual solids in production of cellucrete. T.R. Naik; T.S. Friberg; Y.-M. Chun. Cement and Concrete Research 34(7): 1229-1234. (2004)

Disponível resumo em:

<http://www4.uwm.edu/cbu/Papers/2003%20CBU%20Reports/CBU-2003-03.pdf>

Comportamento mecânico de misturas de resíduo de fabricação de papel e solo para utilização na construção rodoviária. C.E.C. Molina; A.B. Parreira; J.L. Fernandes Jr. XVIII ANPET. 12 pp. (2004)

Disponível em:

http://www.cbtu.gov.br/estudos/pesquisa/anpet_xviiiCongrpesqens/ac/arq23.pdf

Uso de lodo biológico del tratamiento de efluentes de la industria de la celulosa como mejorador de suelos degradados. J.P. Esparza Rodriguez. Dissertação de Mestrado. Universidad de la Frontera. 91 pp. (2004)

Disponível em:

http://rrnn.agroindustria.dm.cl/download_tesis.php?id=efd25aa5b1c35ee&d=1w57w8935wd

Sustainable use of vermicompost in containerized crop production. M. McGinnes; T. Bilderback; S. Warren. EPA Star Graduate Fellowship Conference. Poster. 01 pp. (2004)

Disponível em:

http://es.epa.gov/ncer/fellow/posters/ppt/mcginnis_2004_star.pdf

Humoflor. In “Development of waste sawdust as a plant protection material for horticulture and agriculture”. Lothian Trees and Timber. WRAP - The Waste & Resources Action Programme . p. 05. (2004)

Disponível em:

<http://www.environmental-expert.com/files/8818/articles/4233/4233.pdf>

Fiber-to-fiber: a case study at Domtar, Cornwall. G. Velema; P. Neave. Tappi Journal 3(3): 25-31. (2004)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Effect of solid residues from the cellulose industry on plant growth. M. Jordan; E. Rodriguez. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167(3): 351-356. (2004)

Disponível resumo em:

<http://www3.interscience.wiley.com/journal/109061945/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>

Boletín del Simposio "Resíduos Orgánicos y su Uso em Sistemas Agroforestales". Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 375 pp. (2004)

Disponível em:

http://www.ufro.cl/simposio/doc/Boletin_simposio.pdf

Gestão de resíduos de estações de tratamento. C.V. Andreoli. EXPOCELPA SUL. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 47 slides. (2004)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/16_Gest%E3o_de_Lodos_de_Esta%E7%F5es_de_Tratamento_de_Efluentes.pdf

Utilization of wastes at the Stora Enso Veitsiluoto mills. H. Nurmesniemi. RESOPT/ WASMIN Seminar. Proceedings. p. 145 – 149. (2004)

Disponível em:

<http://www.oulu.fi/resopt/results/Nurmesniemi4.pdf>

Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. (Chemical transformations of organic matter during the composting of wood industry wastes/residues). C.R. Budziak; C.M.B.F. Maia; A.S. Mangrich. Química Nova 27(3): 399-403. (2004)

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n3/20165.pdf>

Beneficial use of short paper fiber (paper mill sludge) for pollution prevention in the mining industry. J.W. Laubenstein. 2004 TAPPI Paper Summit & International Environmental Conference. 03 pp. (2004)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/05_Sludge%20fuel%20specs.pdf

Compost. Clasificación y requisitos. Proyecto de Norma em consulta Pública. CONAMA Chile. 27 pp. (2003)

Disponível em:

http://www.conama.cl/rm/568/articles-28706_recurso_2.pdf

Incorporação de lodo de estação de tratamento de água em blocos cerâmicos. M.G. Sabbag; D.M. Morita. Escola Politécnica. USP – Universidade de São Paulo. 54 pp. (2003)

Disponível citação em:

<http://sistemas3.usp.br/tycho/producaoacademica/ep/phd/CV3.html>

Utilização de resíduos na construção habitacional. J.C. Rocha; V.M. John. Coletânea Habitare. Volume 4. 273 pp. (2003)

Disponível em:

<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/134.pdf>

Management and benefits of pulp and paper mill residues. G. Velema. 2003 TAPPI Environmental Conference. 11 pp. (2003)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/01_management%20paper%20sludge.pdf

Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas. V.D.L. Lébeis. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 115 pp. (2003)

Disponível em:

<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000309329>

Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. R.B. Harrisson; I.A. Guerrini; C.L. Henry; D.W. Cole. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica 198. 23 pp. (2003)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr198.pdf>

Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. (Growth of *Eucalyptus dunnii* affected by phosphorus fertilization and pulp and paper mill wastes application). G.C. Andrade; H.D. Silva; A.F.J. Bellote; C.A. Ferreira. Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa Florestal 47: 43-54. (2003)

Disponível em:

<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/bolet47/pag-43-54.pdf>

Aplicação de biossólido em plantações florestais. F. Poggiani. 6º Seminário de Meio Ambiente. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2003)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Aplicacao_biossolid_plantios_florestais.pdf

Digestão anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás. S.T. Cassini. PROSAB/FINEP. 204 pp. (2003)

Disponível em:

<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabStulio.pdf>

Utilização de resíduos da produção de celulose. A.F.J. Bellote; H.D. Silva; C. A. Ferreira; G. C. Andrade. REMADE – Revista da Madeira nº 77. (2003)

Disponível em:

http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=460&subject=E%20mais&title=Utiliza%E7%E3o%20de%20res%EDduos%20da%20produ%E7%E3o%20de%20celulose

Compostagem: produção de adubo a partir de resíduos orgânicos. C.C. Ribeiro. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. SECTAM. 16 pp. (2003)

Disponível em:

<http://www.sema.pa.gov.br/Download/Cartilha%20Compostagem.pdf>

Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos do tratamento de esgotos da região metropolitana de São Paulo. A.D. Santos. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 282 pp. (2003)

Disponível em:

<http://www.sfiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Teses/tese%2021.pdf>

Power production from waste and biomass IV. Proceedings of the VTT Expert Meeting. 354 pp. (2002)

Disponível em:

<http://virtual.vtt.fi/virtual/waste/programme.pdf> (Programa simpósio)

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2002/s222.pdf> (Proceedings)

Canada-wide standards for mercury and dioxins/furans (New incinerators). Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Manitoba Province Implementation Program. 03 pp. (2002)

Disponível em:

http://www.gov.mb.ca/conservation/cwsmb/pdf/hg_d_f_incinerators_new.pdf

Utilização de rejeito fibroso industrial da polpação kraft de eucalipto para produção de papéis. (Utilization of industrial *Eucalyptus* kraft pulping fibrous residue for paper production). C.G. Castanho. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 116 pp. (2002)

Disponível em:

http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=928

Efeito de lodo de esgoto, do calcário e de nutrientes minerais sobre o crescimento de angico. J.T. Melo; D.P. Guimarães. Embrapa Cerrados. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento nº 56. 18 pp. (2002)

Disponível em:

<http://www.cpac.embrapa.br/download/68/t>

Tijolos de rejeitos industriais. A. Nolasco. RedeTec Inventa Brasil. (2002)
Disponível em:
<http://www.redetec.org.br/inventabrasil/adrnola.htm>
<http://www.usp.br/agen/bols/2000/rede596.html>

O estado-da-arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. R.R. Menezes; G.A. Neves; H.C. Ferreira. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 6(2): 303-313. (2002)
Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v6n2/v6n2a20.pdf>

Efeito do resíduo de celulose nas características químicas dos solos e no desenvolvimento de culturas agrícolas. (Effect of cellulose residues in soil chemistry and agricultural tillages development). A.S.V. Costa; E.R. Galvão; I.C. Lovo; M.J. Ferrari Jr.; L.L. Almeida; G. Benevides. 35º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (2002)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/02_aplica%E7%E3o_de_res%EDduos_de_celulose_no_solo.pdf

Utilização da compostagem para o tratamento de resíduos de madeira e aparas de grama. J.P. Mota; J.T. Pereira Neto; B.S.O. Ceballos. XXVIII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental. 06 pp. (2002)
Disponível em:
<http://www.resol.com.br/textos/iv-053.pdf>

Efeito do resíduo de celulose nas características químicas dos solos e no desenvolvimento de culturas agrícolas. A.S.V. Costa; E.R. Galvão; I.C. Lovo; M.J. Ferrari Jr.; L.L. Almeida; G. Benevides. 35º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 12 slides. (2002)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/15_EFEITOS_DO_RES%CDDUO_DE_CELULOSE_NOS_SOLOS.pdf

Kraft mill residues effects on Monterey pine growth and soil microbial activity. M. Jordan; M. A. Sánchez; L. Padilla; R. Céspedes; M. Osses; B. González. Journal of Environmental Quality 31:1004-1009. (2002)
Disponível em:
<http://jeq.sciijournals.org/cgi/reprint/31/3/1004>

Managing secondary sludge at International Paper's Ticoderoga mill

J. S. Canonico; A.L. Katz. Conference on "Wood and Cellulose: Building Blocks for Chemicals, Fuels and Advanced Materials". 02 pp. (2002)

Disponível em:

http://www.esf.edu/ce/conferences/Cell_pdf/Canonico.PDF

Waste not, want not. Investigating the latest developments in waste management. L. Webb. Pulp and Paper International. Archives. (2002)

Disponível em:

http://www.risiinfo.com/db_area/archive/ppi_mag/2002/0206/ppi7.htm

A compostagem como processo catalisador para a reutilização dos resíduos de fábrica de celulose e papel. (Composting as an alternative

for the pulp and paper mills residues reutilization through a catalizing process). A.G.M. Carvalho; C.F. Valle; I.A. Guerrini; L. Corradine. 35º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (2002)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/09_compostagem_VCP.pdf

O que também é importante saber para se fazer um bom composto.

M.H. Anami; E. Ortega. Planeta Orgânico. (2001)

Disponível em:

<http://www.planetaorganico.com.br/trabcompost.htm>

Efeitos do resíduo de celulose incorporado ao solo no desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). [Effects of cellulose residue in soil at maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) development].

A.S.V. Costa; J.M.O. Ribeiro; E.R. Galvão; I.C. Lovo; M.J.F. Júnior. 34º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 13 pp. (2001)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/13_efeito_res%EDduo_celulose_no_solo_agr%EDcola.pdf

Aspectos econômicos e técnicos da queima de lodo biológico em caldeira de recuperação na Cenibra: uma experiência pioneira no Brasil.

M.M. Costa; A.J. Gomes; F. Paoliello; A.B. Landim; J.L. Bissiati; E.C. Bem; C.M. Silva. Seminário "Destinação de Resíduos Sólidos". ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2001)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/06_QUEIMA_DE_LODO_BIOL%EDGICO_EM_CALDEIRA_DE_RECUPERA%ED%EDC3O.pdf

Efeitos do resíduo de celulose incorporado ao solo no desenvolvimento das plantas de milho e feijão. A.S.V. Costa; J.M.O. Ribeiro; E.R. Galvão; I.C. Lovo; M.J.F. Júnior. 34º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 15 slides. (2001)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/14_EFEITOS_DO_RES%CCDUO_DE_CELULOSE_INCORPORADO_AO_SOLO.pdf

Resíduos com interesse agrícola. Evolução dos parâmetros de sua compostagem. L.M.C. Santos. Instituto Politécnico de Bragança. Portugal. Série Estudos. 149 pp. (2001)

Disponível em:

<http://www.ci.esapl.pt/mbrito/IPBcompostagem.pdf>

Evaluation of paper sludges for amenability to enzymatic hydrolysis and conversion to ethanol. L. R. Lynd; K. Lyford; C. R. South; P. van Walsum; K. Levenson. TAPPI Journal (Fevereiro). 19 pp. (2001)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Uso de lodo de esgoto como fertilizante em plantações florestais. V. Benedetti; F. Poggiani. O Papel (Abril): 24. (2001)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/08_Uso_de_lodo_de_esgoto_como_fertilizante_em_planta%EF%F5es_florestais.pdf

Solos. Manejo integrado e ecológico. Elementos básicos. T.N. Ferreira; R.A. Scharz; E.V. Streck. EMATER/RS. 95 pp. (2000)

Disponível em:

<http://www.unitins.br/ates/arquivos/Agricultura/Solos%20&%20Conserva%EF%F3o/Solos%20-%20Manejo%20Integrado%20e%20Ecol%F3gico.pdf>

Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. [Nitrates and heavy metals in soil and in trees after application of sewage sludge (biosolids) on *Eucalyptus grandis*]. C.A. Andrade; M.E. Mattiazzo. Scientia Forestalis 58: 59-72. (2000)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr58/cap05.pdf>

Cleaning up after the papermakers. From making cement to selling compost, a number of innovative treatment techniques are being tried out in the pulp and paper industry to deal with the problem of

non-product output. L. Webb. Pulp and Paper International (August). Archives. (2000)
Disponível em:
http://www.risiinfo.com/db_area/archive/ppi_mag/2000/0008/ppi3.htm

Estudo de aproveitamento de rejeito fibroso industrial da polpação kraft de eucalipto na produção de papéis reciclados. C.G. Caetano; R.C. Oliveira. 33º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (2000)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/18_rejeito_fibroso_para_papel_reciclado.pdf

Uso de resíduos do processo de reciclagem de papel como material de recobrimento alternativo de aterros sanitários e de rejeitos de mineração geradores de drenagem ácida. (Use of pulp and paper residues as an alternative cover material to landfill and to acid generation tailings). A.R. Cabral; G. Lefebvre; F. Burnotte; C.T. Panarotto; E.C. Pastore. O Papel (Junho): 74-83. (2000)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/19_residuos_reciclagem_para_aterro.pdf

Evaluation of the performance of a pulp and paper mill sludge landfill final cover system. K. Badu-Tweneboah; P.L. Wentzell; J.C. Lawson. Tappi Journal (Junho). 19 pp. (2000)
Disponível em:
<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)
<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. R.S. Freire; R. Pelegri; L.T. Kubota; N. Durán. Química Nova 23(4): 504-511. (2000)
Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2650.pdf>

Avaliação ecotoxicológica e mutagênica de efluentes gerados no branqueamento da celulose. S.M. Gonçalves; J.A.P. Henriques; C. Foelkel. 32º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 19 pp. (1999)
Disponível em:
<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%201999b.pdf>

Uso de casca de *Pinus* e lodo biológico como substrato para produção de mudas de *Pinus taeda*. C.M.B.F. Maia. Boletim de Pesquisa Florestal Embrapa Florestas 39:81-92. (1999)
Disponível em:
<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim39/maia.pdf>

Aproveitamento de resíduo do processo de fabricação de papel em revestimento cerâmico do tipo semi-grés. (Utilization of paper mill process waste in ceramic tile composition). H.A. Oliveira; E.S. Cunha; R.M. Gibbo; J.C. Bressiani. 32º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (1999)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/04_APROVEITAMENTO_DE_RES%20DUO_DO_PROCESSO_DE_FABRICA%C3%93_DE_PAPEL_EM_MASSAS_DE_REVESTIMENTO_CER%C2%ACMICO.pdf

Ensaio de vermicompostagem no lodo primário da Bahia Sul Celulose – projeto piloto. (A pilot survey with vermicomposting in the primary sludge – The Bahia Sul case study). L.J.C. Quaglia; P.M.B. Filho; R.A. Quadros. 32º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (1999)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/21_vermicompostagem_na_Bahia_Sul.pdf

Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos. D. Sztern; M.A. Pravia. Organización Panamericana de la Salud. 69 pp. (1999)

Disponível em:

http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:wzR5A_W382wJ:www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf+site:http://www.bvsops.org.uy+compost&hl=pt-BR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEESggOa9vpX5g72d7jpS1qBuhSuYV4FVrxgiIOWAg8RNBKqSTvInH9G_2qJevjR9E6BxTnf4qMictcDJErERltFt0xyymamOBu-VIz4cSo8NJ7yD9QSiN7dhEg8vEtZ3dfG8LPNp&sig=AHIEtbRqrpHekJo_VGtW3tQRpcwMIjOAZw
<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>

Biosludge incineration in a recovery boiler. P. Harila; V.-A. Kivilinna. Water Science and Technology 40(11-12): 195-200. (1999)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1173095>

From liquor to sludge. Conversion of a recovery boiler to a bubbling fluid bed. J.F. Cronin. 1999 Tappi Engineering Conference. 08 pp. (1999)

Disponível em:

<http://babcock.com/library/pdf/BR-1675.pdf>

Gestão de biossólidos: situação e perspectivas. C.V. Andreoli; E.S. Pegorini. I Seminário sobre Biossólidos do Mercosul. 07 pp. (1998)

Disponível em:

http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_Esgoto/GESTAO_BIOSS_SITUACAO_E_PERSPECTIVAS.pdf

Sludge dewatering process optimization/cost reduction at an integrated pulp and paper mill. J.N. Harvey; E. Boulanger. 1998 TAPPI Environmental Conference Proceedings. p. 407-417. (1998)

Disponível resumo em:

<http://www.tappi.org/Bookstore/Technical-Papers/Conference-Papers/1998/ENV98/Sludge-Dewatering-Process-OptimizationCost-Reduction-at-an-Integrated-Pulp-and-Paper-Mill-1998-Env.aspx>

Co-compostagem de biossólidos, lodo de tratamento de água e resíduos de poda de árvores. S.M.C.P. Silva. XXVI Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. 07 pp. (1998)

Disponível em:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/brares187.pdf>

Environmental, health and safety guidelines for waste management facilities. IFC – International Finance Corporation. 04 pp. (1998)

Disponível em:

[http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_wastemgmt/\\$FILE/wastemgmt.pdf](http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_wastemgmt/$FILE/wastemgmt.pdf)

Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. A.F.J. Bellote; H.D. Silva; C.A. Ferreira; G.C. Andrade. Boletim de Pesquisa Florestal 37: 99-106. (1998)

Disponível em:

<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim37/abellote.pdf>

Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização. Indústria de papel e celulose. E.A. Andrade; M.A. Gomes; M.B. Albuquerque; U. Pawlowsky. CPRH Pernambuco. 106 pp. (1998)

Disponível em:

http://www.ana.gov.br/Destaque/d179-docs/PublicacoesEspecificas/PapelCelulose/Controle_ambiental_papel_celulose.pdf

The decomposition of forest products in landfills. J.A. Micales; K.E.n Skog. International Biodeterioration & Biodegradation 39(2/3): 145-158. (1997)

Disponível em:

<http://comenius.susqu.edu/BIOL/312/mical97a.pdf>

Locating and estimating air emissions from sources of dioxins and furans. U.S. Environmental Protection Agency. 318 pp. (1997)

Disponível em:

<http://www.epa.gov/ttnchie1/le/dioxin.pdf>

Ash morphology and metals distribution during combustion of de-inking sludge. G. Zengh. Dissertação de Mestrado. McGill University. 139 pp. (1997)

Disponível em:

http://digitool.library.mcgill.ca/view/action/singleViewer.do?dvs=1278098673685~231&locale=pt_BR&show_metadata=false&VIEWER_URL=/view/action/singleViewer.do?&DELIVERY_RULE_ID=4&search_terms=SYS%20=%20000004473&adjacency=N&application=DIGITool-3&frameId=1&usePid1=true&usePid2=true

Anaerobic degradation of paper mill sludge. E. Ratnieks; C. C. Gailarde. International Biodeterioration & Biodegradation 39(4): 287-293. (1997)

Disponível resumo em:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VG6-3SWM7GY-3&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=642d1f838ff9eaf20e385f0d616986ff

Controle ecotoxicológico e manejo de resíduos sólidos (lodo) de uma indústria de papel e celulose. V.R.B. Gallardo; N.R. Lima; R. Maltz. 30º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (1997)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/17_manejo_ecotoxicol%F3gico_do_lodo.pdf

Utilização de “decanter” para desidratação de lodos provenientes de fábricas de papel “tissue” com destintamento. L.G.E. Oliveira. 30º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 17 pp. (1997)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/20_uso_decanter_para_desaguar_lodo_destintamento.pdf

Considerações sobre a ecotoxicologia e mutagenicidade do sulfato de alumínio férrico. L. Stenzel; C. Foelkel; V.R.B. Gallardo. 30º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 13 pp. (1997)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/Artigo%20%E9cnico%20ABTCP%201997.pdf>

Fate of trace elements in energy recovery from recycled paper sludge. J.J. Gregg; A.K. Zander; T.L. Theis. TAPPI Journal (Setembro). 06 pp. (1997)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)
<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Energy and materials recovery from recycled paper sludge. W.J. Frederick; K. Iisa; J.R. Lundy; W.K. O'Connor; K. Reis; A.T. Scott; S.A. Sinquefield; V. Sricharoenchaikul; C.A. Van Vooren. Tappi Journal 79(6): 123-130. (1996)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Efficient drying of sludges. M.K. Azarniouch. Tappi Journal 78(7): 139-142. (1995)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Vermicompostagem de lodo de celulose. Vida Produtos Biológicos. 07 pp. (1995)

Disponível em:

[http://www.celso-](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/22_Vermicompostagem_de_Lodo_de_Celulose.pdf)

[foelkel.com.br/artigos/outros/22_Vermicompostagem_de_Lodo_de_Celulose.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/22_Vermicompostagem_de_Lodo_de_Celulose.pdf)

Incineração de resíduos sólidos. Mitos e realidades. M.A.Q. Martorelli. Seminário Resíduos Sólidos. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 33 pp. (1995)

Disponível em:

[http://www.celso-](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/23_INCINERA%C7%C3O_DE_RES%CDDUOS_-_MITOS_E_REALIDADES.pdf)

[foelkel.com.br/artigos/outros/23_INCINERA%C7%C3O_DE_RES%CDDUOS_-_MITOS_E_REALIDADES.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/23_INCINERA%C7%C3O_DE_RES%CDDUOS_-_MITOS_E_REALIDADES.pdf)

Aplicação direta do lodo primário da Bahia Sul Celulose no solo. C.M. Souza; L.J.C. Quaglia; A.J. Souza. 28º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 12 pp. (1995)

Disponível em:

[http://www.celso-](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_aplica%E7%E3o_lodo_prim%E1rio_no_solo_Bahia_Sul.pdf)

[foelkel.com.br/artigos/outros/03_aplica%E7%E3o_lodo_prim%E1rio_no_solo_Bahia_Sul.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_aplica%E7%E3o_lodo_prim%E1rio_no_solo_Bahia_Sul.pdf)

Degradação anaeróbica de lodo do tratamento de efluentes de fábrica de celulose. E. Ratnieks; C. Gaylarde. 28º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 16 pp. (1995)

Disponível em:

[http://www.celso-](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/12_degrada%E7%E3o_anaer%F3bica_do_lodo_Edvin.pdf)

[foelkel.com.br/artigos/outros/12_degrada%E7%E3o_anaer%F3bica_do_lodo_Edvin.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/12_degrada%E7%E3o_anaer%F3bica_do_lodo_Edvin.pdf)

Prospects for the utilization of paper mill sludges in manufactured products: final report. K. Bellamy. Ministry of Environment and Energy. Toronto-Canadá. (1995)

Disponível em:

<http://www.archive.org/download/prospectsforutil00belluoft/prospectsforutil00belluoft.pdf>

<http://www.archive.org/details/prospectsforutil00belluoft>

CPPA/International review of pulp and paper activated sludge dewatering practices. R. Kenny; S. Almost; R. Coghill; C. Easton; F.

Osterberg. 1995 CPPA Technical Section Environmental Conference. 09 pp. (1995)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2796932>

Aplicação direta do lodo da indústria de celulose e papel no solo. C.M. Souza. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 111 pp. (1994)

Disponível resumo em:

<http://capesdw.capes.gov.br/capesdw/resumo.html?idtese=19941432002017001P3>

Alternative management of pulp and paper industry solid wastes.

P.S. Wiegand; J.P. Unwin. TAPPI Journal 77(4): 91-97. (1994)

Disponível em:

<http://www.tappi.org/Downloads/unsorted/UNTITLED---94apr091pdf.aspx>

[http://www.celso-](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_alternative%20ways%20to%20treat%20solid%20wastes.pdf)

[foelkel.com.br/artigos/outros/03_alternative%20ways%20to%20treat%20solid%20wastes.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_alternative%20ways%20to%20treat%20solid%20wastes.pdf)

Riocell nurtures environmental accomplishments. D. Meadows. Tappi Journal 77(5): 57 – 59. (1994)

Disponível em:

http://www.tappi.org/s_tappi/bin.asp?CID=9457&DID=533704&DOC=FILE.PDF

Sludge burning in a circulating fluidized bed boiler. J. Peterson; G. Poulin; S. Hudson. 1994 TAPPI Environmental Conference. 04 pp. (1994)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_Sludge%20burning.pdf

Sludge disposal: the unregulated loophole. L. Webb. PPI – Pulp and Paper International (October): 18-23. (1994)

Disponível em:

http://www.risiinfo.com/db_area/archive/ppi_mag/1994/9410/94100101.htm

Combustion of kraft mill biosludge. O. Välttilä; R. Järvinen; K. Rainio; E. Talka; K. Isomöttönen; M.-T. Alanieri. 1994 TAPPI Environmental Conference. 08 pp. (1994)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/02_Combustion%20of%20biosludge.pdf

Efficient drying of sludges. M.K. Azarniouch. 1994 TAPPI Engineering Conference. 06 pp. (1994)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/01_Efficient%20drying%20sludges.pdf

Drying and recycling of primary sludge at Champion International. K.L. Hargeseth; E.H. Beer. Tappi Journal 76(8): 207-211. (1993)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Development and validation of analytical methods for the determination of phenolic compounds in pulp and wastewater treatment plant sludges. J.R. Louch; L.E. LaFleur; G. Wilson; D. Bautz; D. Woodrow; H. Teitzel; J. Jones; M. Mark. Tappi Journal 76(3): 71-80. (1993)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Considerations for using sludge as a fuel. D.L. Kraft; H.C. Orender. Tappi Journal 76(3): 175-183. (1993)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Use and environmental implications of pulp-mill sludge as an organic fertilizer. E. Vasconcelos; F. Cabral. Environmental Pollution 80: 159-162. (1993)

Disponível resumo em:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15091859>

Fuel specifications - Sludge. S.J. Busbin. 1993 TAPPI Engineering Conference. 08 pp. (1993)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/05_Sludge%20fuel%20specs.pdf

Interpretação de análise de solo. Conceitos e aplicações. A.S. Lopes; L.R.G. Guilherme. Boletim Técnico ANDA nº 2. 50 pp. (1992)

Disponível em:

http://www.anda.org.br/boletins/Boletim_02.pdf

Uso agrícola de resíduos. N.A. Glória. XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. 17 pp. (1992)

Disponível em:

<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Nadir-Uso%20agron.%20Residuos-04.pdf>

Desaguamento de lodos em filtros visando aproveitamento como combustível. L.G. Pachalim; J.M. Neves. 25º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 24 pp. (1992)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/02_desaguamento%20lodo%20para%20queima.pdf

Impacts in recycling wood and wood-fiber products. In: "New crops, new uses, new markets". U.S. Department of Agriculture. p. 264-275. (1992)

Disponível em:

<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1992/laufe92a.pdf>

Sludge incineration applications and processes. C.R. Brunner. Tappi Journal (Novembro): 256-257. (1992)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Alternative uses of recovered fibers. T.E. Hamilton; J.A. Youngquist; A.J. Baker; R. Rowell; T.L. Laufenberg; M.P. Collet. 95+ Landmark Paper Recycling Symposium. p. 333-341. (1991)

Disponível em:

<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1991/hamil91a.pdf>

Composting a combined RMP/CMP pulp and paper sludge. A.G. Campbell; R.R. Engebretson; R. Tripepi. Tappi Journal (Setembro): 183-191. (1991)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Burning mill sludge in a fluidized-bed incinerator and waste-heat-recovery system. O. Nickull; O. Lehtonen; J. Mullen. Tappi Journal (Março): 119-122. (1991)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Considerations using sludge as fuel. D.L. Kraft; H.C. Orender. 1991 TAPPI Engineering Conference. 08 pp. (1991)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/04_Sludge%20as%20fuel.pdf

Sludge dewatering and incineration at Westvaco, North Charleston, S.C. B.A. James; P.W. Kane. Tappi Journal (Maio): 131-137. (1991)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

A waste management program for paper mill sludge high in ash. K. Diehn; B. Zuercher. Tappi Journal (Abril): 81-86. (1990)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Burning screw-press-dewatered bulk sludge and briquetted sludge in a hogged-fuel boiler. N.J. Sell; T.H. McIntosh; T. Jayne; T. Rehfeldt; M. Doshi. Tappi Journal (Novembro): 181-188. (1990)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html> (A localizar artigo pelo título)

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/journal.html#09FEB03> (A localizar artigo pelo título)

Lamas de efluentes de fábricas de celulose. Algumas soluções para seu aproveitamento. A.R. Vaz; C.A. Valente. 22º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 20 pp. (1989)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/05_aproveitamento_lodos_de_celulose.pdf

O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. J.L. Stape; E.A. Balloni. IPEF 40: 33-37. (1988)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr40/cap05.pdf>

Resíduos sólidos industriais ou bens de produção? O conceito da Riocell. C. Steiner; J. Herrera; C. Foelkel. 19º Congresso Anual ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 14 pp. (1988)

Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1988.%20Res%EDduos%20ou%20bens%20de%20produ%E7%E3o.pdf>

Sludge dewatering and disposal in the pulp and paper industry. H.R. Amberg. Journal WPCF 56(8): 962-969. (1984)

Disponível em:

<http://www.p2pays.org/ref/26/25726.pdf>

Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. M.E. Souza. Revista DAE 44(137): 88-94. (1984)

Disponível resumo em:

<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nxtAction=lnk&exprSearch=129277&indexSearch=ID>

Caracterizações analíticas de lodo e interpretação para fins agrícolas e florestais. I – Propriedades físicas e químicas. A. Santos Filho; L.C.N. Tourinho. Floresta 12(1): 44-48. (1981)

Disponível em:

<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/download/6284/4494>

Sludge treatment and disposal. U.S. Environmental Protection Agency.
146 pp. (1978)

Disponível em:

<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/20008ROG.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1976%20Thru%201980&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=3&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=pubnumber%5E%22625478012A%22&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=pubnumber&IntQFieldOp=1&ExtQFieldOp=1&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C76THRU80%5CTXT%5C00000000%5C20008ROG.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=10&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1>



Resíduos que se convertem em produtos

Fonte: <http://www.agrimed.cl/produccion-de-compost>

=====