

# VALORIZAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL DOS RESÍDUOS: UM ESTUDO DE CASO DA FIBRIA-MS CELULOSE SUL MATO-GROSSENSE

**Autores:** Maria Tereza Borges<sup>1</sup>  
 Claudio Kenzo Sigaki<sup>1</sup>  
 Umberto Caldeira Cinque<sup>2</sup>  
 Valter Celestino Contessoto<sup>1</sup>



## RESUMO

A constante evolução tecnológica e alteração das necessidades mundiais levam à busca de opções para destinação dos resíduos. A mudança se inicia com a revisão de conceitos e paradigmas. Substâncias antes descartadas como resíduos apresentam, atualmente, valores econômicos consideráveis. Ganhos ambientais podem ser mensurados quando os resíduos se tornam matérias-primas ou combustíveis renováveis. Nos casos estudados, apresentam menores emissões, quando comparados aos combustíveis fósseis comumente utilizados. Este trabalho tem o objetivo de demonstrar alguns ganhos ambientais e econômicos no aproveitamento energético de resíduos sólidos, além de comprovar o mínimo impacto ambiental com a queima do lodo biológico. O estudo conclui que é possível vencer resistências técnicas e econômicas pela melhor compreensão de que é possível transformar resíduos sólidos em coprodutos de valor agrícola e energético.

**Palavras-chave:** insumo agrícola, insumo energético, resíduo.

## INTRODUÇÃO

A indústria de celulose tem passado por mudanças de paradigmas ao longo dos anos. Tempos atrás, o licor negro, subproduto do processo de cozimento do cavaco, era descartado como resíduo líquido e armazenado em barragens para posterior tratamento. Com o avanço das tecnologias e estudo das propriedades físico-químicas desse subproduto, o licor negro passou a ser utilizado como insumo energético em Caldeira de Recuperação, possibilitando a produção de vapor e energia, assim como a recuperação de parte do licor branco utilizado no cozimento dos cavacos de madeira.

A biomassa de madeira, resultado do descascamento do eucalipto, era mantida no campo ou descartada em aterros apropriados. Com o tempo, seu poder calorífico fez com que fosse considerada um insumo energético e queimada em Caldeira de Biomassa para produção de vapor e energia. De forma semelhante, a lama de cal

também passou por mudanças de conceito, sendo aproveitada em Forno de Cal - no processo de produção de celulose - e, mais recentemente, aproveitada como insumo agrícola, possibilitando a correção do pH do solo em diversos plantios pela substituição técnica e econômica do calcário para esse fim.

Com o avanço tecnológico, novos estudos surgiram, de modo a atender o artigo 9º da Política Nacional de Resíduos (BRASIL, 2010) que diz: "Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos".

As indústrias têm buscado alternativas ambientalmente corretas para destinação de seus resíduos, pelo gerenciamento integrado dos 4Rs (repensar, reduzir, reutilizar e reciclar). Faccini *et al.* (2012) também afirmam que a utilização dos resíduos industriais para geração de produtos de maior valor agregado é uma opção extremamente interessante nos âmbitos financeiro e ambiental. Nesse estudo, os autores citam resíduos do digestor, serragem e lodo da estação de tratamento de efluentes, dando a opção de pirólise (degradação térmica de combustível sólido) como uma boa destinação. O biocombustível é uma alternativa recomendada para atender à demanda de vapor da produção e, quando bem utilizado, representa menor custo de operação (Reis *et al.*, 2016).

Visando a redução de emissões de gases que aumentam o efeito estufa, as empresas prosseguem na crescente busca da substituição de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis. Semelhante ao conceito de valorização de resíduos da agroindústria, descrito por Rosa *et al.* (2011), o desenvolvimento de novos usos dos subprodutos do processo e de tecnologias que revertam o conceito de resíduo para o de matéria-prima é imprescindível para otimizar a eficiência das indústrias, além de reduzir o impacto ambiental.

O objetivo deste trabalho é mostrar a mudança de paradigma re-

### \* Referências dos autores:

1. Fibria-MS Celulose Sul Mato-Grossense LTDA.
2. Fibria Celulose S.A.

**Autor correspondente:** Maria Tereza Borges. Rodovia BR 158, km298, Caixa Postal 529 – Fazenda Barra do Moeda. Três Lagoas (MS) - CEP 79.601-970. Brasil. Telefone: +55-67-35098495. E-mail: maria.borges@fibria.com.br.

ferente à destinação dos subprodutos do processo de celulose kraft, valorizando-os economicamente e ambientalmente, além de apresentar um estudo de caso de queima de lodo biológico e suas emissões na Fibria-MS Celulose Sul Mato-Grossense.

## MÉTODOS

Os resíduos - ou subprodutos - da fábrica de celulose foram divididos em insumos energéticos e insumos agrícolas. Entende-se por insumo energético o elemento que entra na produção para gerar energia, ou seja, aquele composto orgânico que possui carbono e que apresenta poder calorífico (MJ/kg) suficiente para a oxidação do combustível (Costa Neto *et al.*, 2000). O insumo agrícola é aquele que apresenta nutrientes essenciais para o crescimento e a produção das plantas, sem presença de contaminantes, como os metais pesados (Malavolta, 2012).

Para comparação do potencial de produção de energia foi feita a medição do Poder Calorífico Superior (PCS) dos resíduos no laboratório da Fibria-MS utilizando bomba calorimétrica IKA C-510, que segue as normas DIN 51900 e ISO 1928. Esse poder calorífico foi comparado ao dos combustíveis fósseis usuais (óleo e gás natural) para mensuração da quantidade necessária a sua substituição e dos ganhos econômico e ambiental associados.

Para se conhecer exatamente as emissões atmosféricas da queima de lodo biológico misturado a biomassa de madeira contratou-se uma empresa acreditada na ISO 17025, seguindo a metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da CETESB, que coletou e mediu as concentrações de material particulado, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, ácido fluorídrico, compostos clorados, metais, dioxinas e furanos. Foram realizadas medições atmosféricas em três condições de combustíveis: 1) biomassa; 2) 80% de biomassa + 20% de lodo biológico (proporção mais usual de queima) e; 3) 60% de biomassa + 40% de lodo biológico - máxima proporção possível devido à umidade do lodo biológico - com três repetições.

Os resultados foram analisados estatisticamente e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para referência legal, as concentrações foram comparadas ao artigo 38 da Resolução Conama 316/02, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos (Brasil, 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A indústria de celulose kraft gera, em seu ciclo produtivo, diversos subprodutos por muito tempo considerados resíduos: biomassa de madeira, licor negro, metanol, gases não condensáveis - concentrados ou diluídos -, lodos primário e biológico da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), rejeito da depuração da linha de fibras, lama de cal, cinzas, areia, dregs e grits.

Mediante a caracterização dos resíduos e novas tecnologias, esses subprodutos podem ser divididos em duas categorias: insumo energético e insumo agrícola, conforme **Tabela 1**.

Dentre os insumos agrícolas podem-se destacar os corretivos de solo e os fertilizantes. Os corretivos têm como função elevar o pH do solo, aumentar a saturação por bases e fornecer nutrientes às plantas, principalmente cálcio e magnésio. Já os fertilizantes fornecem os demais macro e micronutrientes necessários ao desenvolvimento da árvore. Os resíduos industriais gerados em plantas de celulose como dregs, grits, cinzas e lama de cal, possuem características químicas que os colocam em condições de utilização como corretivos de solo em substituição a calcário agrícola. A composição desses resíduos em proporções pré-definidas pode formar um corretivo de solo ainda mais interessante para aplicação em povoamentos florestais. Já os resíduos orgânicos como biomassa, lodo primário e rejeito da depuração, quando submetidos a processo de compostagem se tornam aptos a aplicação como fertilizantes orgânicos, e quando misturado a resíduos inorgânicos como cinzas, dregs, grits e lama de cal passam a formar um fertilizante de base organomineral, com potencial de aplicação em áreas florestais e demais culturas.

Considera-se a opção da queima de resíduos como uma alternativa

**Tabela 1.** Resíduos industriais e seu valor econômico

Resíduo	Insumo energético	Insumo agrícola
Biomassa de madeira	Sim	Sim
Licor negro	Sim	Não
Metanol	Sim	Não
Gases não condensáveis	Sim	Não
Lodo primário	Sim	Sim
Lodo biológico	Sim	Sim
Rejeito da depuração	Sim	Sim
Lama de cal	Não	Sim
Cinzas	Não	Sim
Dregs	Não	Sim
Grits	Não	Sim
Areia	Ex.: destinações a estradas e venda	

economicamente viável e ambientalmente correta quando abre possibilidade a redução de combustíveis fósseis. Costa Neto *et al.* (2000) realizaram trabalho semelhante com resíduo de óleo vegetal que, inicialmente um resíduo indesejado, na reciclagem produziu biocombustível alternativo; assim, não só há a possibilidade de retirada do poluente do meio ambiente como também é fonte alternativa de energia.

Subprodutos do processo industrial como licor negro, biomassa, metanol e gases não condensáveis são há anos caracterizados como fontes de energia e responsáveis pela elevada matriz energética renovável das fábricas de celulose kraft. Por outro lado, por muito tempo, o lodo biológico foi enviado a aterros industriais planejados para receber resíduos Classe II. No entanto, algumas características do lodo acarretam dificuldades na operacionalização do aterro industrial como presença de líquidos livres, difícil compactação e odor desagradável. É importante salientar que os aterros industriais, embora ambientalmente corretos, devem ser a última opção para destinação dos resíduos, pois, além do descarte de uma possível matéria prima e necessidade de grandes áreas para sua construção, devem ser continuamente monitorados (Portella e Ribeiro, 2014).

Assim como outros subprodutos anteriormente considerados resíduos, o lodo biológico possui características intrínsecas que conferem poder calorífico superior (PCS), de 17,3 MJ/kg, ou seja, valor mais elevado do que o licor negro (Tabela 2), o que possibilita geração de energia no processo de queima. O lodo biológico é proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes industriais e representa os microrganismos em excesso descartados do sistema biológico de tratamento. Por ser uma biomassa orgânica, a proporção de matéria orgânica é muito superior aos demais compostos, e apresenta apenas traços de componentes inorgânicos.

Seguindo a busca de melhores alternativas de destinação e por meio da evolução tecnológica, surgiu a possibilidade de queima do lodo biológico por meio de sua mistura com biomassa da madeira. Adotando o mesmo princípio, faz-se possível a queima do lodo primário e do rejeito da depuração, conforme poder calorífico demonstrado na Tabela 2. Importante salientar que se optou por utilizar o

poder calorífico superior (PCS) ao invés do poder calorífico inferior (PCI) devido ao controle interno laboratorial mediante PCS, dada a alta correlação estatística entre PCS e PCI. Como este estudo visa uma comparação entre insumos energéticos e combustíveis fósseis, e não apenas a demonstração da geração de energia, a utilização tanto do PCI quanto do PCS mostrou-se adequada.

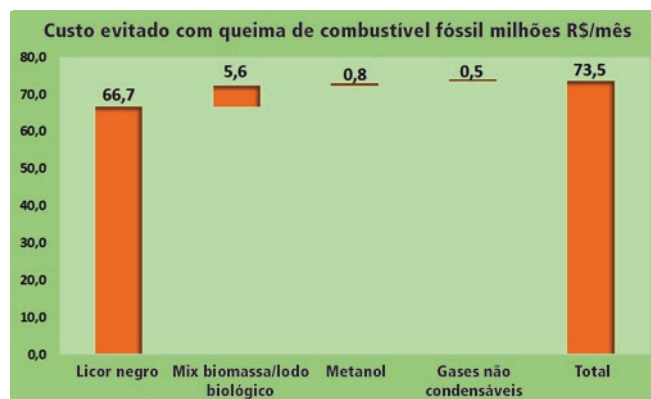
A matriz energética renovável da indústria de celulose viabilizou sua operação, além de possibilitar a venda de energia para a rede pública. Na Unidade da Fibria localizada em Três Lagoas (MS), mais de 90% da energia gerada é proveniente de fontes "limpas". Considerada a queima dos principais insumos energéticos de uma fábrica de celulose como licor negro, biomassa, metanol e gases não condensáveis somada à possível queima de subprodutos como lodo biológico, lodo primário e rejeito da depuração em base seca, a energia gerada seria de aproximadamente 2.250.000 GJ/mês, sendo que desse total os resíduos (lodos e rejeito) contribuiriam com uma geração média de 105.663 GJ, ou seja, 4,7% da energia total.

O custo da produção de energia por meio da queima de combustíveis fósseis, como óleo BPF e gás natural, é expressivamente superior ao custo da geração de energia por meio dos combustíveis renováveis. Considerando um custo de R\$ 1,44/kg de óleo BPF e R\$ 1,20/m<sup>3</sup> de gás natural, valor médio desses combustíveis em 2016, apenas o licor negro, responsável pela geração de 1.935.000 GJ/mês (86% do total gerado) possibilita economia superior a R\$ 66 milhões por mês em combustíveis fósseis. Atualmente, na unidade da Fibria de Três Lagoas são queimados continuamente os seguintes combustíveis renováveis: licor negro, metanol, gases não condensáveis e o mix de biomassa e lodo biológico. Cabe ressaltar que é prática usual nas empresas de celulose a utilização do licor negro e do metanol como combustíveis na sua matriz energética. A Figura 1 mostra o custo evitado com combustíveis fósseis devido à queima dos combustíveis renováveis mencionados. O poder calorífico do mix de biomassa/lodo é próximo ao da biomassa pura (Tabela 2), e o custo evitado apenas com a queima de biomassa seria de R\$ 5,9 milhões/mês, levemente superior ao custo evitado pelo mix. Considerando o estoque de biomassa na fábrica e a capacidade da Caldeira de Biomassa de 120 t/h de vapor, esse menor poder calorífico resulta irrelevante.

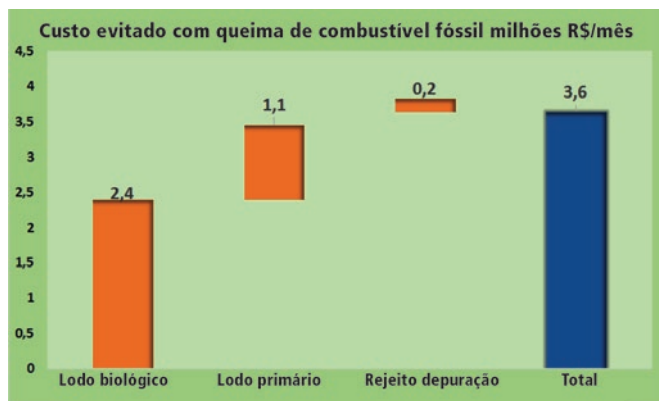
**Tabela 2.** Poder Calorífico Superior (PCS) dos insumos energéticos

Resíduo	PCS (MJ/kg)
Licor negro <sup>5</sup>	11,7
Metanol <sup>1</sup>	19,9
Gases não condensáveis <sup>2</sup>	9,3
Biomassa	10,8
Lodo biológico <sup>5</sup>	17,3
Lodo primário <sup>5</sup>	15,4
Rejeito da depuração <sup>5</sup>	8,0
Mix biomassa/lodo biológico	10,1
Óleo BPF (3A) <sup>3</sup>	41,7
Gás natural <sup>4</sup>	39,8 MJ/m <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dado obtido pelo IPT – Instituto Politécnico de Toman; <sup>2</sup>Com base em cálculo pela porcentagem de gases não condensáveis na composição do gás; <sup>3</sup>Dado obtido pela Petrobrás; <sup>4</sup>Dado obtido pela MS Gás. <sup>5</sup>Valores de PCS em base seca.



**Figura 1.** Custo evitado com combustíveis fósseis mediante queima dos combustíveis renováveis

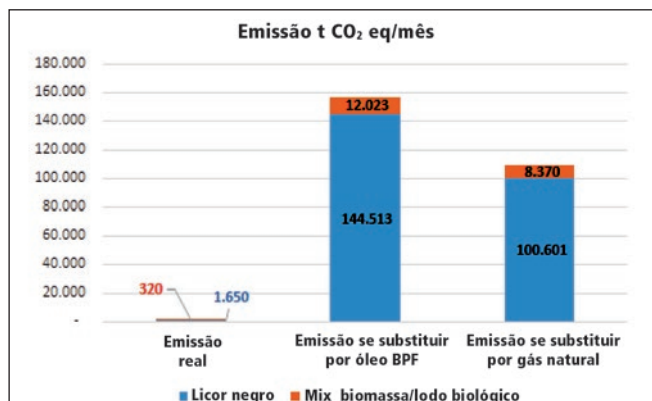


**Figura 2.** Custo evitado com combustíveis não renováveis mediante queima dos resíduos em base seca

A queima dos resíduos é uma possibilidade real e prática para as fábricas de celulose. Considerando o poder calorífico descrito na Tabela 2 é possível inferir sobre o potencial de geração de energia do lodo biológico, lodo primário e rejeito da depuração, quando submetidos previamente a procedimento de secagem através de secador dedicado para elevação de seu teor seco. A energia produzida por cada um dos resíduos foi baseada na geração média mensal de 4.000 toneladas para o lodo biológico, 2.000 toneladas para o lodo primário e 700 toneladas para o rejeito da depuração. Calculando-se o potencial energético de cada um desses subprodutos e considerando o valor médio dos combustíveis fósseis (gás natural e óleo BPF), é possível obter economia de R\$ 3.640.000 com combustíveis fósseis, conforme demonstrado na **Figura 2**.

A disposição mundial para uso de fontes de energia mais limpas é resultado da reunião da cúpula do clima da ONU, em Paris, onde diplomatas de quase 200 países elaboraram um acordo para reduzir drasticamente as emissões de gases-estufa (GEE) (UNFCCC, 2015). A queima dos insumos energéticos leva a uma emissão de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ), resultado da multiplicação das toneladas emitidas de GEE pelo seu potencial de aquecimento global, significativamente menor do que energia equivalente gerada por combustíveis fósseis como óleo BPF ou gás natural. O Programa Brasileiro GHG Protocol estabelece coeficientes de emissão para alguns combustíveis, sendo que 1 kg dos principais combustíveis fósseis - óleo BPF e gás natural - geram, respectivamente, 3,12 kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  e 2,07 kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$ . Por outro lado, a queima de biomassa gera apenas 0,02 kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  e o licor negro 0,01 kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  (GHG Protocol, 2016).

Na fábrica da Fibria-MS Celulose Sul Mato-Grossense, os principais combustíveis renováveis são o licor negro e a biomassa (ou mix de biomassa e lodo biológico) que, juntos, geram mais de 90% da energia produzida nessa unidade fabril. Considerando a queima atual de licor negro e o mix de biomassa/lodo biológico - insumos energéticos que produzem cerca de 1.935.000 GJ/mês e 160.900 GJ/mês, respectivamente -, calcula-se uma emissão real de gases de efeito estufa 98% menor do que se a mesma energia fosse gerada com óleo BPF. A **Figura 3** de-

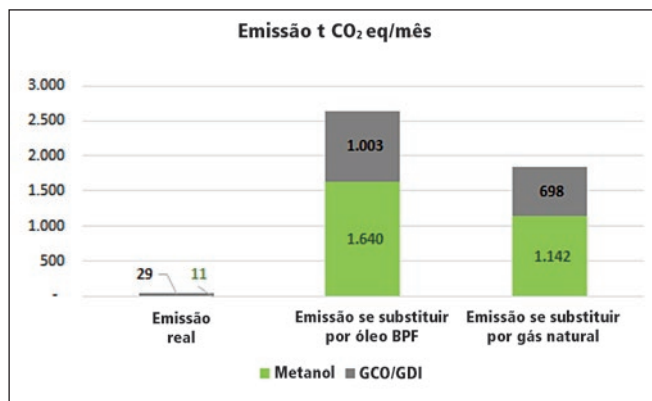


**Figura 3.** Emissão de gases de efeito estufa com a queima de combustíveis renováveis e combustíveis fósseis

monstra a emissão real de toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente por mês com a queima dos combustíveis renováveis - licor negro e mix biomassa/lodo biológico - e a emissão causada caso esses combustíveis fossem substituídos por óleo BPF ou gás natural. Ressalta-se que a emissão real de gases de efeito estufa é a mesma caso considerada apenas a queima da biomassa ou o mix de biomassa/lodo biológico.

O ganho observado referente à redução da emissão de gases de efeito estufa é o mesmo quando se avalia a geração de energia por metanol e gases não condensáveis. Na Unidade da Fibria de Três Lagoas (MS), a geração média de energia por queima de metanol é de 21.900 GJ/mês e com queima de gases não condensáveis concentrados e diluídos é de 13.420 GJ/mês. A emissão real de gases de efeito estufa para a produção mensal dessa energia é menos de 3% da emissão desses gases caso a energia fosse gerada por queima de óleo BPF. A **Figura 4** demonstra a emissão real de toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente por mês com a queima dos insumos metanol e gases não condensáveis e a emissão caso esses combustíveis fossem substituídos por óleo BPF ou gás natural.

A queima dos subprodutos industriais - lodo biológico, lodo primário e rejeito de depuração - pode levar ao mesmo ganho ambiental dos demais insumos energéticos já consagrados, citados anteriormente. Por meio do poder calorífico do lodo biológico, do lodo primário e do



**Figura 4.** Emissão de gases de efeito estufa com queima de insumos energéticos (metanol e gases não condensáveis) e combustíveis fósseis

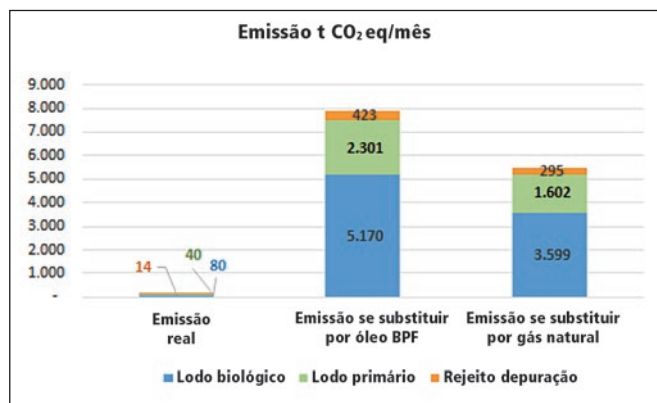


Figura 5. Emissão de gases de efeito estufa com a queima de subprodutos e de combustíveis fósseis

rejeito da depuração (Tabela 2) é possível inferir sobre o potencial de geração de energia elétrica desses resíduos. Considerando uma geração mensal de 4.000 toneladas, o lodo biológico pode produzir energia de 69.200 GJ/mês. O lodo primário, com média de 2.000 toneladas/mês, levaria a uma produção de 30.800 GJ/mês, enquanto o rejeito da depuração, de 700 toneladas/mês, acarretaria um ganho energético de aproximadamente 5.600 GJ/mês. Para calcular a emissão de gases de efeito estufa utilizou-se o mesmo coeficiente da biomassa (0,02 kg de CO<sub>2</sub> eq), o maior dentre os combustíveis renováveis. Desse modo, a emissão real de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente seria pelo menos 3% menor caso a mesma energia fosse produzida por óleo BPF. A Figura 5 enfatiza a vantagem da combustão dos subprodutos frente à queima de combustíveis fósseis, demonstrando a emissão real mensal de gases de efeito estufa com a queima dos subprodutos - lodos e rejeito da depuração - e a emissão caso esses combustíveis fossem substituídos por óleo BPF ou gás natural.

A Figura 6 mostra um resumo das emissões de gases de efeito estufa. Nota-se que, considerada a queima de todos os insumos energéticos citados nas figuras 3, 4 e 5, a emissão de CO<sub>2</sub> equivalente seria de 2.144 toneladas. Por outro lado, se todos esses insumos fossem substituídos por gás natural ou óleo BPF a emissão seria de 116.306 e 167.074 toneladas de CO<sub>2</sub> eq, respectivamente, ou seja, 98% superior à emissão por queima de insumos renováveis.

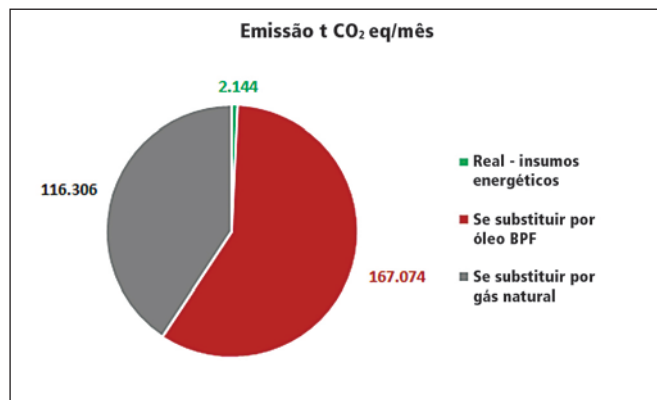


Figura 6. Emissão de gases de efeito estufa com queima dos insumos energéticos e pela substituição por combustíveis fósseis

Tabela 3. Resultado das emissões atmosféricas da queima de biomassa e biomassa com lodo biológico

Emissões	Combustível <sup>1</sup>	Valor médio (mg/Nm <sup>3</sup> )	Limite Legal <sup>2</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Material particulado	1	12,73 a	70
	2	21,04 a	
	3	47,99 b	
Óxidos de enxofre	1	<1,85 a	280
	2	2,04 a	
	3	3,63 b	
Óxidos de nitrogênio	1	200,94 a	560
	2	193,33 ab	
	3	172,47 b	
Ácido fluorídrico	1	<0,272 a	5
	2	<0,273 a	
	3	<0,328 a	
Compostos clorados	1	0,152 a	1,8
	2	0,429 b	
	3	0,724 c	
Metais I (Cd, Hg e Ti)	1	0,0012 a	0,28
	2	0,0013 b	
	3	0,0016 b	
Metais II (As, Co, Ni, Te e Se)	1	0,000993 a	1,4
	2	0,000963 a	
	3	0,000913 b	
Metais III (Sb, Pb, Cr, Cn, Cu, Sn, F, Mn, Pt, Pd, Rh e V)	1	0,1853 a	7
	2	0,1698 ab	
	3	0,2578 a	
Dioxinas e furanos	1	0,0039 a	0,5 <sup>3</sup>
	2	0,0045 a	
	3	0,0034 a	

<sup>1</sup>Combustível 1 = biomassa; Combustível 2 = 80% biomassa + 20% de lodo biológico; Combustível 3 = 60% biomassa + 40% lodo biológico; <sup>2</sup>Limite legal estabelecido na Resolução CONAMA 316/02. <sup>3</sup>A unidade para dioxinas e furanos é ng/Nm<sup>3</sup>.

Médias seguidas pela mesma letra em cada uma das medições não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O receio da queima de resíduos em diferentes proporções está na emissão de compostos como metais pesados, óxidos de enxofre e nitrogênio, assim como compostos clorados, ácido fluorídrico, dioxinas e furanos. A Fibria-MS realiza, continuamente, a queima de lodo biológico misturado com biomassa de madeira. Para verificar a não contaminação atmosférica com a queima desse subproduto realizou-se a medição dos gases da chaminé, conforme descrito na metodologia. Os resultados da medição e a comparação com limite legal estabelecido na Resolução Conama 316/02 (BRASIL, 2002) estão detalhados na **Tabela 3**.

Observa-se que as emissões, nas três condições, são inferiores aos limites estabelecidos na legislação (BRASIL, 2002). Para algumas emissões como ácido fluorídrico e dioxinas e furanos, não foram observadas diferenças estatísticas entre as condições avaliadas. Importante salientar que mesmo que as demais emissões apresentem diferença estatística entre as médias, os resultados encontrados são consideravelmente inferiores aos limites legais. Esse fato se deve à composição do lodo biológico, que apresenta basicamente carbono e água. Os produtos químicos utilizados nas fábricas modernas de celulose kraft, como a Unidade da Fibria de Três Lagoas (MS), são isentos de cloro elementar, o que leva à geração de subprodutos menos poluentes, possibilitando destinações alternativas, como a queima.

Os testes não foram realizados com lodo primário e rejeito de depuração; assim recomenda-se que, caso realizada a combustão desses resíduos, sejam feitas previamente as análises atmosféricas. Contudo, considerando as condições de processo atuais, os resultados serão possivelmente bastante semelhantes àqueles da queima do lodo biológico.

## CONCLUSÕES

A utilização de combustíveis renováveis na indústria de celulose kraft como licor negro, biomassa, metanol e gases não condensáveis leva à redução na emissão de gases de efeito estufa e ganhos financeiros significativos. A mistura da biomassa com lodo biológico, prática realizada na Fibria-MS, proporciona ganhos semelhantes em emissão de gases de efeito estufa e em custos evitados com combustíveis fósseis, quando comparada a biomassa pura. O mesmo ocorre com a queima de subprodutos, em base seca, como lodo biológico, lodo primário e rejeito da depuração, que apresentam capacidade de geração de energia e conseqüente economia com combustíveis fósseis, assim como menor emissão de CO<sub>2</sub> equivalente.

Este trabalho visa estimular o uso de tecnologias para maior ganho energético com queima de resíduos, através da utilização de novos materiais resistentes à corrosão e que possibilitem melhor aproveitamento térmico dos fluidos já existentes no processo como gases de exaustão do forno de cal e do secador de resíduos, entre outros.

As alterações nas emissões atmosféricas avaliadas na queima de lodo biológico são significativamente inferiores aos limites legais estabelecidos pela resolução Conama, o que demonstra que esse resíduo pode ser queimado juntamente com a biomassa para produção de energia.

A atual forma produtiva das fábricas de celulose, que visa reduzir a utilização de compostos nocivos ao meio ambiente, leva à geração de subprodutos adequados a destinações alternativas como aplicação no solo ou queima. A nova utilização desses insumos mostra a constante evolução nas indústrias na busca das melhores alternativas para otimizar recursos e capturar valores sociais, ambientais e econômicos. ■

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.065 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.justicaeleitoral.jus.br/arquivos/lei-12-305-2010-pnrs/view> >
- BRASIL. Resolução nº 316 de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2006\\_386.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2006_386.pdf) > Acesso em: 10 de maio de 2016.
- COSTA NETO, P. R., ROSSI, L. F. S., ZAGONEL, G. F., RAMOS, L. P. *Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras*. Química Nova. v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.
- FACCINI, C.S., VECCHIA, I. D., CARAMÃO, E. B., LIMAN, ZINI, C. A. *Caracterização de bio-óleo obtido de resíduo de processo kraft utilizando cromatografia gasosa monodimensional e bidimensional abrangente com detector de espectrometria de massas*. O Papel, Brasil v. 13, n. 4, p. 65-73, 2012.
- MALAVOLTA, E. *Nutrientes, do que as plantas precisam?*. Unifertil Universal de Fertilizantes AS, Canoas - RS, v. 002/Ano 02, 10 p, 2012.
- PORTELLA, M. O., RIBEIRO, J. C. J. *Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos*. Revista Direito Ambiental e sociedade. v. 4, n. 1, p. 115-134, 2014.
- GHG Protocol. Programa Brasileiro *Ferramenta de estimativa de gases de efeito estufa para fontes intersetoriais* v 2016.1. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>> Acesso em: 16 de maio de 2016.
- REIS, H. M., HALLA, D. V., CARNEIRO, S. S. F., DIAS, H. F. F., MILANEZ, A. F. *Aumento de eficiência na matriz energética de uma planta de papel e celulose usando controle baseado em lógica fuzzy: um estudo de caso*. O Papel, Brasil v. 77, n. 1, p 67-72, 2016.
- ROSA, M. S., SOUZA FILHO, M. S. M., FIGUEIREDO, M. C. B., MORAIS, J. P. S., SANTAELLA, S. T., LEITÃO, R. C. *Valorização de resíduos da agroindústria*. In: II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais - II SIGERA, v. 1, 2011. Foz do Iguaçu- PR. p. 98-105.
- UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE -. Paris Agreement, Paris, França. Disponível em: <<http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/finale-cop21/> >. Acesso em: 16 de maio de 2016.