

## Uso de resíduos da indústria de papel e celulose em plantios florestais: aspectos técnicos e legais





ISSN 1980-3958  
Dezembro, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Florestas  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 291**

### **Uso de resíduos da indústria de papel e celulose em plantios florestais: aspectos técnicos e legais**

*Shizuo Maeda  
Marcia Toffani Simão Soares  
João Bosco Vasconcelos Gomes  
Itamar Antonio Bognola  
Debora Evelyn Christo dos Santos*

Embrapa Florestas  
Colombo, PR  
2015

## **Embrapa Florestas**

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

[www.embrapa.br/florestas](http://www.embrapa.br/florestas)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

## **Comitê Local de Publicações**

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Elenice Fritzsos, Giselda Maia Rego,

Ivar Wendling, Jorge Ribaski, Luis Claudio Maranhão Froufe,

Maria Izabel Radomski, Susete do Rocio Chiarello Penteadó,

Valderes Aparecida de Sousa

Revisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Luciane Cristine Jaques

Foto da capa: Rodolfo Buhner

1ª edição - versão digital (2015)

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Florestas**

---

Uso de resíduos da indústria de papel e celulose em plantios florestais: aspectos técnicos e legais [recurso eletrônico] / Shizuo Maeda ... [et al.]. Dados eletrônicos - Colombo : Embrapa Florestas, 2015.  
(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; 291)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

Título da página da web (acesso em 30 dez. 2015).

1. Solo. 2. Resíduo industrial. 3. Plantio florestal. 4. Legislação.  
I. Maeda, Shizuo. II. Soares, Marcia Toffani Simão. III. Gomes, João Bosco Vasconcelos. IV. Bognola, Itamar Antonio. V. Santos, Debora Evelyn Christo dos. VI. Série.

CDD 631.8 (21. ed.)

© Embrapa 2015

# **Autores**

## **Shizuo Maeda**

Engenheiro-agronômo, Doutor em Agronomia,  
Pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

## **Marcia Toffani Simão Soares**

Engenheira-agronôma, Doutora em Agronomia,  
Pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS

## **João Bosco Vasconcelos Gomes**

Engenheiro-agronômo, Doutor em Agronomia,  
Pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

## **Itamar Antonio Bognola**

Engenheiro-agronômo, Doutor em Engenharia  
Florestal, Pesquisador da Embrapa Florestas,  
Colombo, PR

## **Debora Evelyn Christo dos Santos**

Acadêmica de Engenharia Florestal da Pontifícia  
Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR



# Apresentação

O aproveitamento de resíduos industriais é um tema relevante, tanto no aspecto ambiental quanto no financeiro. As instituições de pesquisa têm sido demandadas no sentido de viabilizar o uso desses resíduos como insumo para a obtenção de produtos, solucionando o problema de disposição e dando um destino nobre para os mesmos.

O solo é um interessante meio para depuração de resíduos. As áreas florestais no Brasil abrangem cerca de 7 milhões de ha, sendo que as empresas do setor de celulose e papel são responsáveis por aproximadamente 2,2 milhões de ha dessas áreas de florestas plantadas. Conforme a legislação vigente, as empresas geradoras de resíduos são responsáveis por sua destinação final de forma ambientalmente segura.

Esse documento foi elaborado com o objetivo de auxiliar os interessados na utilização de resíduos resultantes do processamento da madeira para extração de celulose e produção de papel como insumo florestal, tanto no que se refere à questão técnica para avaliação agrônômica do resíduo quanto na questão do arcabouço legal envolvido no processo.

*Sérgio Gaiad*  
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento





# Sumário

<b>Introdução</b> .....	9
<b>Principais resíduos sólidos e semi-sólidos gerados em complexos integrados de celulose e papel</b> .....	10
<b>Aspectos técnicos e legais voltados à elaboração de projeto agrônômico para uso de resíduos em plantios florestais</b> .....	15
Caracterização e classificação dos resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.....	17
Caracterização de resíduos sob o aspecto agrônômico.....	20
Critérios para definição de doses, épocas e formas de aplicação...	21
Avaliação de problemas de ordem ambiental .....	23
Avaliação da viabilidade econômica.....	24
Seleção e caracterização das áreas de aplicação.....	25
Monitoramento agrônômico e ambiental da área de aplicação.....	26
Manuseio, transporte e armazenamento.....	28
Processos adicionais de tratamento .....	29
<b>Considerações finais</b> .....	29
<b>Referências</b> .....	30



## Introdução

Com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a responsabilidade de destino final dos passivos ambientais, gerados nos mais diversos setores de produção, passou a ser das empresas e indústrias. Assim, espera-se que o mercado passe a investir cada vez mais em programas de reciclagem e reaproveitamento de rejeitos industriais.

O setor de celulose e papel é apontado, por sua competitividade e importância na economia brasileira, como um dos principais segmentos de base florestal no Brasil (BIAZUS et al., 2010). Cerca de 7,74 milhões de ha de florestas são plantadas no Brasil. Deste total, aproximadamente 2,63 milhões de ha são destinados à produção de celulose e papel (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2015). Assim como na maioria das atividades produtivas, os processos envolvidos geram resíduos (SCHNEIDER et al., 2012), muitos deles passíveis de reaproveitamento como fertilizantes ou condicionadores de solo. Esta possibilidade é vantajosa por contribuir para a reposição de nutrientes retirados com a colheita florestal e para manter ou aumentar a capacidade produtiva dos sítios florestais, além de ser uma alternativa mais segura de disposição, quando comparada à destinação em aterros sanitários ou ao uso em áreas agrícolas voltadas à produção de alimentos.

Os benefícios potenciais do uso de resíduos das indústrias de celulose e papel como fertilizantes ou condicionadores do solo de forma segura dependem do atendimento de um conjunto de procedimentos técnicos e legais voltados ao seu uso racional e seguro. Seu adequado manejo nas áreas produtivas, bem como a maximização de seu potencial como insumo agrícola são definidos com base em suas características, sua composição e em informações disponíveis da interação solo-planta-insumo, a fim de assegurar a sua eficiência para melhoria em atributos do solo e/ou no fornecimento de nutrientes às plantas, bem como avaliando a

possibilidade da presença de compostos potencialmente tóxicos ao ambiente.

Este documento apresenta as principais diretrizes técnicas e legais voltadas ao uso dos resíduos gerados no processamento da madeira para extração de celulose, e da reciclagem de papel como fertilizante ou condicionador de solos em plantios florestais. As informações aqui contidas são auxiliares à elaboração de projetos, devendo ser adequadas e complementadas a partir de especificações legais definidas pelos órgãos ambientais responsáveis pela autorização ou licenciamento deste tipo de atividade.

## **Principais resíduos sólidos e semi-sólidos gerados em complexos integrados de celulose e papel**

Os resíduos florestais, nos quais se incluem aqueles gerados nas indústrias de papel e celulose são definidos por Nolasco et al. (2000) como todo e qualquer material proveniente da colheita ou processamento da madeira e de outros produtos florestais que permanece sem utilização definida durante o processo, por limitações tecnológicas ou de mercados, sendo descartado durante a produção.

Conforme Nolasco et al. (2000), para a produção de uma tonelada de celulose branqueada (kraft) e de papel, a geração de resíduo, com aproximadamente 10% de umidade, varia de 122 a 181 kg. Segundo Bellote et al. (1998), as fábricas de papel e celulose geram uma quantidade de resíduos de aproximadamente 48 t para cada 100 t de celulose produzida, ou seja, geram 48% de resíduo em seu processo produtivo. Estes valores podem ser muito variáveis em função do tamanho da indústria e da tecnologia de uso e processamento da matéria prima e demais insumos. No entanto, o lodo gerado em estações de tratamento de efluentes é o principal resíduo decorrente da reciclagem de papel e apresenta características distintas em

relação ao originado no tratamento de efluentes da fabricação de celulose, não havendo dados disponíveis sobre a quantidade de lodo gerado.

Os principais resíduos gerados no processamento da madeira para extração de celulose, juntamente com os processos geradores, a composição dos resíduos e suas potenciais aplicações encontram-se listados na Tabela 1. Na Tabela 2 é apresentada uma estimativa da geração de resíduos em complexo celulose e papel, integrada com uma planta cativa de papel fino e uma planta de cloro-soda cativa. Na Tabela 3 é apresentada a caracterização química e biológica dos resíduos da indústria de celulose e papel.

**Tabela 1.** Processo de geração dos principais resíduos sólidos em complexos integrados de celulose e papel.

Resíduo	Processo de geração	Fonte <sup>1</sup>
Resíduos da colheita da madeira (cascas, galhos, etc.)	Colheita da madeira	
Cascas do descascador	Na obtenção de cavacos para cozimento, nas operações de descascar e lavar toras, picar toras e peneirar cavacos, sendo os cavacos retidos nas peneiras repicados. Nesse caso, os resíduos são constituídos pelas cascas da madeira e finos (serragem) do peneiramento.	(a)
Resíduos da depuração da polpa não branqueada	A polpa resultante do cozimento dos cavacos é depurada por meio de peneiras vibratórias e depuradores centrífugos antes de ser submetida a lavagem e engrossamento. Basicamente, os resíduos são constituídos de nós da madeira e cavacos não cozidos ou parcialmente cozidos.	(a)
<i>Dregs</i>	Gerado na caldeira de recuperação do licor de cozimento (clarificação do licor verde), sendo uma impureza do processo de combustão do licor negro concentrado. O <i>dregs</i> é um resíduo sólido, de cor escura, odor característico e natureza alcalina, de granulometria fina. Na sua composição predominam o CaO – 35,7%, silicatos – 30,4% e carbono orgânico – 20,8%, seguidos por MgO – 3,62%, Na – 4,7%, metais – 3,2%, sulfitos e N. Os metais originam-se do desgaste dos equipamentos e dos insumos utilizados no processo.	(a)

continua . . .

**Tabela 1.** Continuação.

Resíduo	Processo de geração	Fonte <sup>1</sup>
Grits	Gerado no processo de decomposição térmica da lama de carbonato de cálcio proveniente da caustificação no forno de cal (apagamento da cal virgem). É um resíduo de coloração amarelada, sem odor, de natureza alcalina com granulometria média. Em sua composição predomina o CaO - 53%, silicatos - 41,5%, MgO - 1,83% e K <sub>2</sub> O - 1,2%. Os teores de metais e sódio são menores, comparados aos presentes no <i>dregs</i> , sendo 0,84% e 0,13%, respectivamente.	(a)
Lama de cal	A lama de cal também é gerada na etapa de recuperação do licor de cozimento. Na etapa de caustificação é utilizada a cal hidratada, a qual, após o uso, se transforma em carbonato de cálcio, sendo tratada num processo de combustão e hidratação para retornar ao processo como cal hidratada. Em momentos em que haja necessidade de realizar a manutenção do forno de cal, o carbonato de cálcio (lama de cal) necessita ser descartado. A lama de cal é um sólido de coloração cinza claro, homogêneo e sem odor característico. Esse resíduo é rico em Ca (23%), pobre em Mg (8,2%) e com a presença de sódio em baixos níveis (2,6%).	(b)
Cinzas das caldeiras auxiliares	Gerados em caldeiras de cogeração de energia, principalmente pela queima de biomassa de madeira - cavacos e cascas. A composição da cinza depende da matéria prima utilizada. Trata-se de um resíduo alcalino, com predomínio, em sua composição típica, de CaO - 25 a 35%, SiO <sub>2</sub> - 18 a 25%, K <sub>2</sub> O - 10 a 15%, MgO - 6 a 7% e P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 1,6 a 3,4%.	(a)
Lodo de ETE	Os efluentes líquidos gerados nos processos são tratados em estações de tratamentos e estão divididos em três etapas: a) primário (decantação - impurezas e fibras não recuperáveis); b) secundário (reator biológico - matéria orgânica); c) terciário (clarificação - basicamente hidróxido de alumínio). Por questões financeiras, há casos em que os lodos são adensados e desaguados conjuntamente. O resíduo gerado no tratamento de efluentes em complexos integrados de reciclagem de aparas de papel apresenta características químicas distintas daquelas geradas dos complexos integrados de celulose e papel. No caso dos complexos integrados de celulose e papel, na composição típica do conjunto dos lodos predomina a matéria orgânica - 73,3%, seguida de insolúveis em HNO <sub>3</sub> - 11,4%, alumínio - 7,9%, cloretos - 4,1%, fósforo - 1,3%, enxofre 0,37% e N total - 0,87%.	(a)

<sup>1</sup> (a) Confederação Nacional da Indústria (2009); (b) Bergamim et al. (1994).

**Tabela 2.** Estimativa de resíduos gerados (base úmida) em uma planta de celulose kraft branqueada com capacidade nominal de 1.000 t dia<sup>-1</sup> de celulose branqueada seca ao ar (ADTB) integrada com uma planta cativa de papel fino<sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup> (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 1989).

Resíduo gerado*	Base úmida (t dia <sup>-1</sup> )	
	Massa gerada	%
Manuseio madeira/cavacos	13	3,5
Depuração polpa	104	27,7
<i>Dregs</i>	25	6,7
<i>Grits</i>	9	2,4
Cinza leve	2,6	0,7
Lodos	220	58,6
Preparação salmoura	1,5	0,4
<b>Total</b>	<b>375,1</b>	<b>100,0</b>

<sup>(1)</sup> descascamento das toras na floresta; caldeira auxiliar para biomassa florestal e abatimento de cor via adsorção em cal (processo integrado). <sup>(2)</sup> capacidade nominal de 300 t dia<sup>-1</sup> e uma planta de cloro-soda cativa com capacidade nominal de 30 t dia<sup>-1</sup> de soda a 100% (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 1989).

**Tabela 3.** Caracterização química e biológica dos resíduos da indústria de celulose e papel.

Variáveis	Lodo biológico <sup>1</sup>	Lodo biológico <sup>2</sup>	Cinza	Dregs/grits	Lodo primário	Rejeito de depuração	Biomassa	Lama de cal <sup>3</sup>
pH	13	8,6	10,1	10,7	8,6	10,2	6,1	12,9
Carbono orgânico (%)	5,6	23,84	15	2,5	18	32	4,1	-
Sólidos voláteis (%)	10	-	38	4,47	33,2	56,9	75,6	-
Nitrogênio total (mg kg <sup>-1</sup> )	6.526	300	1.492	1.534	7.843	1.747	2.553	-
Cálcio (mg kg <sup>-1</sup> )	12.023	150.000	51.824	213.684	14.641	471	1.122	385,100
Sódio (mg kg <sup>-1</sup> )	11.080	171,54	3.104	37,465	3.957	11,473	343	5.640
Magnésio (mg kg <sup>-1</sup> )	1.799	1760	6.547	15.163	385	47	145	2.100
Nitrogênio amoniacal (mg kg <sup>-1</sup> )	163	-	33	127	380	259	228	-
Nitrito + nitrato (mg kg <sup>-1</sup> )	< 90	-	8,3	< 0,2	< 1,2	4,7	1,3	-
Potássio (mg kg <sup>-1</sup> )	3.203	136,79	14.193	3.425	334	790	942	200
Arsênio (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,4	< 49,94	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,4	< 0,50*
Bário (mg kg <sup>-1</sup> )	196	94,76	169	387	52	14	4,9	-
Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,4	< 9,99	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,4	< 5
Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> )	11	10,99	21	6,7	2,7	0,8	0,5	< 50
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	13	49,14	26	49	1,6	< 0,5	0,7	0,0
Cromo (mg kg <sup>-1</sup> )	51	7,09	108	204	12	15	1,2	< 10*
Mercúrio (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,17	0,18	< 0,03	< 0,035	< 0,054	< 0,021	< 0,025	< 400
Molibdênio (mg kg <sup>-1</sup> )	2,8	< 9,99	1,0	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,4	-
Níquel (mg kg <sup>-1</sup> )	20	< 9,99	17	95	2,3	< 0,5	< 0,4	-
Selênio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,4	< 49,94	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,4	-
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	87	265,22	111	132	23	9,5	9,7	10
Coliformes								
termotolerantes (NMP g <sup>-1</sup> de ST)	17.285	-	< 1	< 1	< 1	< 1	526	-
Ovos viáveis de helmintos (ovos g <sup>-1</sup> de ST)	0	-	0	0	0	0	0	-
Salmonelas (P/A) em 10 g de ST	ausente	-	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	-

Fonte: Pereira (2010). <sup>1</sup> resultante tratamento efluente da produção de celulose; <sup>2</sup> resultante tratamento efluente da reciclagem de papel; <sup>3</sup> Bognola et al. (1997); \* µg kg<sup>-1</sup>



## **Aspectos técnicos e legais voltados à elaboração de projeto agronômico para uso de resíduos em plantios florestais**

Com a sanção da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a qual dispõe, conforme o artigo primeiro, sobre seus “princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis”. Em seu artigo 20, estabelece que os geradores de resíduos sólidos, previstos no artigo 13, estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos, sendo esse plano parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade pelo órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), conforme estabelecido no artigo 24 da lei.

O projeto agrônômico voltado ao uso de resíduos em áreas agrícolas e florestais, além de ser uma eficiente ferramenta de gestão e controle ambiental e silvicultural, geralmente é pré-requisito para requerimento de autorização ambiental das atividades industriais nos órgãos competentes. A sua elaboração requer o atendimento da legislação voltada às atividades silviculturais, como, por exemplo, do Novo Código Florestal Brasileiro, Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei Federal nº 6,938 de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981) bem como, o atendimento às leis específicas, de todos os âmbitos, voltadas ao uso e reciclagem de resíduos em solos agrícolas e florestais. Importante salientar que, embora não haja, no âmbito nacional, legislação específica voltada à aplicação de resíduos da indústria de celulose e papel em solos sob produção agrícola ou florestal, o projeto agrônômico pode ser orientado por critérios e procedimentos definidos para resíduos afins. As Resoluções CONAMA nº 375, de

29 de agosto de 2006 e nº 380, de 31 de outubro de 2006 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b, 2012c), de abrangência federal, definem critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e produtos derivados (produtos destinados a uso agrícola que contenham lodo de esgoto em sua composição). Estas resoluções definem alguns parâmetros do resíduo da área agrícola, tais como: a) a concentração máxima permitida de substâncias inorgânicas presentes no resíduo; b) a carga acumulada teórica permitida dessas substâncias no solo, como resultado da aplicação do resíduo; c) as restrições locacionais e de aptidão do solo das áreas de aplicação; e d) o monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado. Agências ambientais de alguns estados do Brasil também disponibilizam normas voltadas ao uso agrícola de resíduos urbanos e/ou industriais e que podem ser orientadores para a elaboração de um plano de uso, como as normas técnicas elaboradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) P4.230 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999a); P4.233 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999b); P4.002 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

Os resíduos, apresentando benefícios agrônômicos, podem ser registrados ou terem seu uso autorizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), responsável pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Segundo o Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004), alterado pelo Decreto nº 8.059, de 26 de julho de 2013 (BRASIL, 2013), para que um resíduo possa ser utilizado como fertilizante, corretivo ou condicionador de solo, o mesmo precisa proporcionar algum benefício ao sistema solo/planta (artigo 15) sem prejudicar o meio ambiente – solo, água, fauna e flora e o ser humano (artigo 17), bem como ter o registro ou autorização de uso e aplicação no solo emitido pelo MAPA (artigo 17, do Decreto nº 4.954, BRASIL, 2004). Para tanto, parâmetros de qualidade relativos à presença de contaminantes e

a garantia de benefícios agronômicos devem ser comprovados ao órgão federal responsável, por meio de laudos analíticos e resultados de pesquisas realizadas por instituições públicas ou credenciadas. Os Decretos, nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014 (BRASIL, 2014) e nº 4.954 (BRASIL, 2004), que aprovam o Regulamento da Lei nº 6.894/1980, apresentam instruções para registro ou autorização de uso destes produtos. Adicionalmente, a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009) apresenta normas sobre as especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura (BRASIL, 2005, 2009). Na Instrução Normativa nº 27, de 5 de maio de 2006 (BRASIL, 2006) também são apresentadas as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes para serem produzidos, importados ou comercializados. No Estado de São Paulo, a Decisão de Diretoria da CETESB, nº. 388/2010/P, de 21 de dezembro de 2010 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010) adota como premissa de aplicação em solo agrícola, no Estado de São Paulo, de resíduos ou efluentes que possuam registro no MAPA como fertilizante não depende da manifestação da CETESB, uma vez que são enquadrados como produtos agronômicos.

Na sequência estão elencados os principais aspectos que podem compor projetos voltados ao planejamento e uso de resíduos da indústria de celulose e papel em plantios florestais.

### **Caracterização e classificação dos resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública**

A primeira etapa do planejamento de uso de resíduos em atividades silviculturais compreende o conhecimento detalhado do material sob o aspecto agrícola e ambiental. O uso do solo como meio depurador de carga orgânica de resíduos pode estar sujeito ao licenciamento,

controle e fiscalização ambiental, conforme a Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002a); a Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000 (BRASIL, 2000) e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981). Tais informações poderão ser utilizadas durante o processo de licenciamento ambiental da atividade pelos órgãos competentes, sendo que estes laudos podem ser emitidos por laboratórios acreditados.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu uma série de critérios para amostragem e classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública (NBR 10.004, NBR 10.005, NBR 10.006, NBR 10.007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d). Os critérios de classificação dos resíduos sob o aspecto ambiental estão estabelecidos na NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a). Para fins de caracterização e classificação, um plano de amostragem deve ser elaborado previamente à coleta da amostra, com definição clara do objetivo da amostragem, número e tipo de amostras, conforme a norma NBR 10.007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004d). A classificação de resíduos sólidos abrangerá a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, a descrição do processo no qual o resíduo foi gerado, da matéria prima e dos insumos utilizados, com seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com a listagem de resíduos e substâncias que geram impactos à saúde e ao meio ambiente. Os resíduos poderão ser classificados em Classe II (não perigoso) e Classe I (perigoso). Os resíduos Classe II ainda devem ser classificados como não-inertes (Classe II A), ou seja, que possuem propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, e inertes (Classe II B). A distinção entre resíduos Classe II A e B pode ser realizada por meio de ensaios para a obtenção dos extratos lixiviado e solubilizado de resíduos sólidos, conforme os procedimentos descritos na NBR 10.005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA

## DE NORMAS TÉCNICAS, 2004b) e NBR 10.006 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004c).

No anexo F da NBR 10.004 são estabelecidos os limites máximos permitidos de algum elemento ou composto para o enquadramento do resíduo como Classe II. Caso algum elemento ou composto supere os limites do anexo mencionado, o resíduo deverá ser enquadrado como Classe I, por apresentar “riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; e riscos ao meio ambiente quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a). O resíduo com esta classificação não deve ser aplicado como insumo em áreas florestais, tema desse texto.

Para uso como insumo florestal, os resíduos classificados como Classe II A ou B deverão também ser caracterizados quanto: a) ao potencial agrônomico; b) à presença substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; c) a indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; d) à estabilidade.

As concentrações máximas permitidas de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas e cargas de substâncias inorgânicas acumuladas no solo, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos são mencionadas na Resolução CONAMA nº 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b) e na Instrução Normativa nº 27 (BRASIL, 2006). A resolução nº 375 também exige a caracterização do lodo para substâncias orgânicas potencialmente tóxicas (Artigo 7º, § 3º e 4º). Na tabela 1 do Anexo V da Resolução CONAMA nº 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b) são listadas 34 substâncias que devem ser monitoradas no lodo, embora sem o estabelecimento de concentrações máximas permitidas. Ainda conforme o § 4º do Artigo 7º, em função das características químicas dos efluentes industriais recebidos para tratamento na ETE, poderá ser solicitada dispensa ou alteração da lista de substâncias orgânicas a serem determinadas no lodo de esgoto.

## **Caracterização de resíduos sob o aspecto agrônômico**

A disposição do resíduo em solos florestais pode ser feita desde que proporcione benefícios ao sistema solo-planta, sem prejudicar o ecossistema, incluindo a água, organismos, ar, etc.

Em sendo possível a aplicação do resíduo como insumo florestal, conforme norma NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004a), deve-se avaliar o potencial do material como insumo agrícola/florestal por meio de análises químicas, físicas e biológicas. Sugere-se complementar a avaliação com ensaios em condições controladas. A análise química indicará o potencial do resíduo para o fornecimento de nutrientes ou mesmo a capacidade em alterar o pH do solo que o material apresenta, substituindo ou eliminando a necessidade de outras fontes de nutrientes e corretivos da acidez do solo. Um elevado teor de matéria orgânica indica o potencial em aumentar a capacidade de troca catiônica, a retenção de água, a agregação de partículas e a atividade biológica, entre outros efeitos. Por sua vez, a análise física indicará as possíveis formas de aplicação do resíduo ou mesmo a necessidade de processamento para viabilizar tecnicamente a sua aplicação.

Para a caracterização do potencial agrônômico, a Resolução CONAMA nº 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b), no seu artigo 7º, estabelece os parâmetros a serem determinados no lodo de esgoto ou produto derivado, podendo-se acrescentar a essa relação a determinação de micronutrientes. No § 1º são relacionados os parâmetros para fins de caracterização do potencial agrônômico; no § 2º são relacionadas as substâncias inorgânicas potencialmente prejudiciais ao ambiente. A resolução mencionada orienta, ainda, a análise de sódio total, sólidos totais e voláteis, sem o estabelecimento de quantidades máximas permitidas. Pires e Mattiazzi (2008) recomendam, adicionalmente, a determinação da curva de neutralização, que permite avaliar o poder do resíduo em acidificar ou alcalinizar o solo e, para

resíduos predominantemente orgânicos, a degradabilidade da matéria orgânica (respirometria) e a taxa de mineralização de nitrogênio.

Experimentos em casa de vegetação e em condições de laboratório também poderão dar subsídios iniciais para estudos visando a definição de doses e formas de aplicação no solo, em função da cultura florestal. Estudos em condições controladas permitem um maior número de combinações (tipos de solo, de plantas e de resíduos, interação entre resíduos e insumos agrícolas, como fertilizantes e corretivos, variações nos teores de umidade e temperatura, dentre outros aspectos), com menor escala de tempo, de espaço e de recursos financeiros. Resultados de estudos nessas condições contribuem substancialmente para a definição de ensaios a serem conduzidos em condições de cultivo em campo.

Como exemplo, pode-se mencionar as informações obtidas em trabalhos de incubação de amostras de solo de diferentes características com os resíduos disponíveis. Nesse tipo de trabalho, os aspectos positivos e negativos dos resíduos são ressaltados para cada solo estudado, indicando as ações que devem ser tomadas para minimizar os aspectos negativos de cada resíduo e aproveitar suas características positivas.

### **Crítérios para definição de doses, épocas e formas de aplicação**

Com o objetivo de se atender as exigências nutricionais das plantas, evitar a aplicação de nutrientes em proporções desbalanceadas para a nutrição vegetal e a disponibilização de elementos químicos excedentes passíveis de contaminação ambiental, as recomendações de aplicação dos resíduos como fertilizante devem ser pautadas pelos resultados das análises dos mesmos e em ensaios agrônômicos elencados no item 3.2, bem como pelo uso das tabelas de recomendação de adubação e calagem para as espécies florestais, associadas aos laudos de caracterização química do solo para fins de

fertilidade. Em geral, os resíduos são complexos em sua composição, podendo resultar em múltiplos efeitos quando de sua aplicação no solo. Alguns critérios para a definição de doses depreendidos da Resolução CONAMA n° 375, artigo 17 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b), e que podem ser utilizados para os resíduos elencados na Tabela 1, são: a) taxas anuais máximas de aplicação de N, com base na quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura e o teor de nitrogênio disponível no lodo de esgoto ou produto derivado; b) elevação do pH e c) observância dos limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas. Para *dregs* e *grits*, é importante a observância das quantidades de sódio a serem aplicadas no solo via resíduo, dada a presença de elevadas concentrações desse elemento (Tabela 1) e seus efeitos do solo. A Norma CETESB P.4233 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999b) apresenta valores limites máximos anuais de sódio total que podem ser aplicados em solos via lodos de curtumes e que podem ser utilizados como parâmetros para resíduos de outras fontes, junto ao monitoramento do sistema solo/planta em condições de campo.

Embora as informações obtidas em experimentos de laboratório e casa de vegetação sejam úteis para a definição de doses, trabalhos em condições de campo são fundamentais para sua consolidação em atividades preliminares, tanto no que se refere à definição das doses quanto da forma de aplicação.

Para a escolha da época de aplicação deve-se levar em consideração o regime pluviométrico da região, devendo-se evitar períodos com intensidade pluviométrica, quando os riscos de carreamento de resíduos para corpos hídricos são maiores (GLÓRIA, 1992).

Caso haja restrições referentes à declividade do terreno, à profundidade do solo e/ou ao regime pluviométrico, pode-se realizar o parcelamento da aplicação do material, bem como priorizar a aplicação em covas e em sulcos.



Em função da escala da maioria dos plantios florestais, a aplicação do resíduo só se torna viável quando realizado de forma mecanizada. Assim, as eventuais restrições técnicas para sua aplicação necessitam ser superadas. Além das dimensões dos plantios florestais, há o desconforto operacional para a realização da aplicação manual do resíduo.

## **Avaliação de problemas de ordem ambiental**

A Lei nº 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), impõe ao poluidor e ao degradador a obrigação de recuperar e/ou indenizar danos causados e a Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (BRASIL, 2002), em seu artigo 1.228, § 1º, afirma que o direito de propriedade deve ser exercido de modo que sejam preservados a flora, a fauna, as belezas naturais, o equilíbrio biológico e o patrimônio histórico e artístico, bem como evitada a poluição do ar e das águas.

Em condições de campo, os eventuais problemas ambientais, considerando os efeitos sobre o solo, a água, a flora e a fauna devem ser avaliados. No que se refere ao solo e a água, padrões de qualidade são estabelecidos por legislação voltada à essa questão. Quanto ao solo e à água subterrânea, a Resolução CONAMA nº 420, de 30 de dezembro de 2009 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012d) estabelece em seu anexo II os valores orientadores, dentre esses as referências de qualidade, de prevenção e investigação que devem ser seguidos. Conforme o artigo 8º da resolução mencionada no parágrafo anterior, alterada pela Resolução CONAMA nº 460, de 30 de dezembro de 2013 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2013) os estados e o Distrito Federal devem estabelecer os valores de referência de qualidade para substâncias químicas naturalmente presentes no solo. No que se refere à qualidade da água para consumo humano, a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011), estabelece padrões de potabilidade da água para substâncias inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos e desinfetantes e produtos secundários, os quais são mencionados

no anexo VII, da referida portaria. Para o monitoramento de águas subterrâneas, a NBR 14.847 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) orienta sobre a metodologia a ser seguida.

Sob outra perspectiva, a aplicação de resíduos pode promover alterações químicas e físicas ao solo, que podem resultar em prejuízos à biota do solo. Para a avaliação do efeito dessas alterações são necessários indicadores para cada grupo específico de organismos que habitam o solo. Entre os componentes biológicos que podem ser utilizados como indicadores de alterações no ambiente do solo, provocadas pela aplicação de resíduos, destacam-se a fauna do solo, as plantas (crescimento das raízes e parte aérea), biomassa e atividades microbiana e enzimática.

Metodologia para avaliação do efeito da aplicação de resíduos sobre a biomassa microbiana, respiração, quociente metabólico e a atividade enzimática do solo, encontra-se descrita em Bettiol et al. (2006). Metodologia para avaliação do efeito da aplicação de resíduos sobre as populações de ácaros e colêmbolos podem ser encontradas em Melo (2006). Minhocas e enquitreídeos também apresentam potencial como indicadores de alterações ambientais promovidas pela aplicação de resíduos, sendo, no entanto, necessários estudos básicos tais como, biologia e ecologia dos mesmos para tal finalidade (BROWN; DOMINGUEZ, 2010; NIVA et al., 2011).

### **Avaliação da viabilidade econômica**

O uso dos resíduos só será adotado se o benefício financeiro de sua aplicação como insumo florestal equivaler ou superar o custo de seu descarte em aterros. Mesmo que a sua aplicação como insumo florestal não resulte em benefício ao plantio florestal, com ganhos de produtividade, pode-se considerar a possibilidade de aplicação, caso o custo de descarte em aterros tenha valor equivalente ao custo de aplicação.

## **Seleção e caracterização das áreas de aplicação**

Os critérios a serem adotados para seleção de áreas aptas à aplicação dos resíduos devem ser pautados pelas exigências legais e pelo conhecimento das potencialidades e limitações do ambiente físico, da cultura e/ou do material. Em plantios florestais, de modo geral, a seleção e manejo das áreas de produção de madeira destinadas ao uso de resíduos devem atender às métricas previstas no novo Código Florestal, Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012), para atividade fim, tomando-se o cuidado em estabelecer áreas de proteção permanente no entorno de cursos d'água superficiais, a fim de estabelecer regiões de proteção hídrica.

O conhecimento de atributos físicos e morfológicos do solo também auxiliará na escolha de áreas e estratégias de aplicação. Solos profundos e bem drenados possuem melhores condições de reterem nutrientes, evitando que possíveis excedentes atinjam cursos d'água superficiais e subterrâneos. Por isso, especificamente para lodos sanitários de sistemas de tratamento biológico, conforme o artigo 15 da Resolução CONAMA nº 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b), que trata das “restrições locacionais e da aptidão do solo das áreas de aplicação” não é permitida a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado “em parcelas com solos com menos de 50 cm de espessura até o horizonte C”, e “em áreas onde a profundidade do nível do aquífero freático seja inferior a 1,5 m na cota mais baixa do terreno”. Uma restrição importante estabelecida na resolução refere-se à declividade do terreno. Outras restrições podem ser observadas no artigo 15 da mencionada resolução.

A área a ser utilizada necessita ser pré-caracterizada antes da aplicação do resíduo, uma vez que a mesma pode não apresentar as características químicas que se ajustem às exigências legais. O Artigo 21º da Resolução CONAMA nº 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b) orienta a caracterização dos solos das áreas antes da primeira aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado, quanto aos parâmetros de fertilidade, sódio trocável, condutividade elétrica e substâncias inorgânicas. A necessidade de obtenção da

saturação em sódio em função do sódio trocável ao longo do perfil do solo, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, é mencionada na Norma CETESB P.4233 para lodos de curtumes (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999b). Para fins de caracterização e monitoramento químico do solo, a Resolução CONAMA n° 420 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012d), alterada pela Resolução CONAMA n° 460 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2013), dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas. Conforme nova redação dada pela Resolução CONAMA n° 460 (artigo 8°), os valores de referência de qualidade do solo (VRQs) para substâncias químicas naturalmente presentes devem ser estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos estados e do Distrito Federal. São exemplos de valores orientadores de qualidade do solo de abrangência estadual, em diferentes unidades federativas do país, os apresentados na Portaria FEPAM n° 85/2014 (RIO GRANDE DO SUL, 2014) do Estado do Rio Grande do Sul, na Deliberação Normativa COPAM n° 166, de 29 de junho de 2011 (MINAS GERAIS, 2011) de Minas Gerais, em São Paulo, na Decisão da Diretoria 045/2014, de 20 de fevereiro de 2014 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014), em Pernambuco na Instrução Normativa CPRH n° 7, de 7 de julho de 2014 (PERNAMBUCO, 2014) e no Rio de Janeiro na Resolução CONEMA n° 44, de 14 de dezembro de 2012 do Conselho Estadual do meio Ambiente (CONEMA) (RIO DE JANEIRO, 2012).

## **Monitoramento agrônômico e ambiental da área de aplicação**

O tipo, a periodicidade da amostragem e as análises a serem realizadas no sistema água-solo-planta devem atender as demandas do plantio florestal, a fim de possibilitar intervenções no manejo ao longo do ciclo da cultura. Sob o aspecto ambiental, recomenda-se seguir os critérios do órgão ambiental licenciador, em conjunto com os órgãos de saúde e de agricultura competentes.

O monitoramento é um dos instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, conforme Artigo 8º da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010). Neste aspecto, a Resolução CONAMA nº 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b) no seu artigo 21 orienta a caracterização da área, antes da primeira aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado, quanto aos parâmetros de fertilidade, sódio trocável, condutividade elétrica e substâncias inorgânicas. Na resolução mencionada, o monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo (citado no anexo II) deve ser realizado, no mínimo a cada 3 anos, no caso da aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado. Para substâncias inorgânicas, o monitoramento deve ser realizado a cada aplicação, sempre que as substâncias inorgânicas forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação; quando a carga acumulada teórica adicionada para qualquer das substâncias inorgânicas monitoradas alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida estabelecida na resolução em questão; e a cada 5 aplicações, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo. Outras ações de monitoramento são mencionadas no artigo 21 da referida resolução.

Para águas subterrâneas também deve ser considerada a Portaria MS nº 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2005) que “estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”. No artigo 14 dessa portaria é mencionado que “a água potável deve estar em conformidade com os padrões de substâncias químicas que representam risco para a saúde”, os quais são apresentados na tabela 3, desse artigo. No artigo 16, da portaria, é mencionado que “a água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo” que é apresentado na tabela 5 desse artigo. A Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), que “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”, também apresenta em seus anexos os padrões mencionados.

Análises físicas também são recomendadas, especialmente em situações onde a qualidade do resíduo pode comprometer a qualidade do solo, como por exemplo, a aplicação de materiais com elevadas concentrações de sódio, que podem resultar em redução da porosidade e estruturação do solo. Em relação à cultura florestal, o monitoramento de parâmetros hipsométricos (altura e diâmetro à altura do peito) e comparação entre plantios com mesma idade/tipo de solo e diferentes tipos de fertilização (com e sem aplicação de resíduos) também é desejável.

O monitoramento da aplicação de resíduos em áreas florestadas possui extremo interesse também sob o aspecto silvicultural, pela possibilidade de inferência sobre os reais benefícios de seu uso para o sistema solo/planta, para subsidiar ajustes e proposições de novas técnicas de manejo a fim de otimizar seu uso na silvicultura, visto ainda serem poucos os dados disponíveis em literatura referentes ao uso agrícola de resíduos urbanos e industriais, de modo geral. O monitoramento da fertilidade do solo e da nutrição das árvores possibilitará corrigir possíveis desbalanços de nutrientes ou excessos de elementos tóxicos no sistema solo-planta.

## **Manuseio, transporte e armazenamento**

A qualificação de funcionários e custos envolvidos nestas atividades são imprescindíveis, devendo-se prever treinamento para manuseio dos resíduos e equipamentos, uso de EPI's, bem como planejar a estrutura física e logística para transporte e armazenamento dos produtos. A NBR 13.221/2003 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS, 2003) especifica os requisitos para o transporte terrestre de resíduos, e a NBR 11.174/90 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS, 1990) estabelece as condições mínimas necessárias ao transporte armazenamento de resíduos classes II-não inertes e III-inertes, de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente.

## **Processos adicionais de tratamento**

Os benefícios agronômicos dos resíduos podem ser aumentados significativamente com o uso de técnicas voltadas à melhoria de suas condições físicas, químicas e biológicas, e tornando o resíduo mais atrativo sob o aspecto agronômico, ambiental e econômico. No Anexo I da Resolução CONAMA nº 375 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b) são estabelecidas algumas técnicas para redução da patogenicidade e atratividade de vetores. Dentre as técnicas, pode-se mencionar a compostagem, que é o processo resultante da ação de microrganismos que, adicionalmente, modifica o aspecto físico do resíduo, facilitando seu manejo e transforma o material orgânico em compostos estáveis e humificados, com relação C/N adequada sob o aspecto agronômico e ambiental. Outras informações sobre a compostagem podem ser obtidas em Carvalho (2001). Resultados do processo de compostagem para resíduos da indústria de papel e celulose são apresentados por Barretto (2008), Bergamin et al. (1994), Carvalho et al. (2002) e Pereira (2010).

## **Considerações finais**

A legislação relativa ao assunto tratado nesse trabalho apresenta certo dinamismo, ajustando-se às novas necessidades conforme o nível de conhecimento sobre a geração, o tratamento e o uso de resíduos evolui. Dessa forma, há que se considerar a necessidade de acompanhamento constante sobre a evolução técnica e legal do assunto em questão.

A rastreabilidade pode ser uma necessidade a ser considerada na aplicação de resíduos em plantios florestais pela possibilidade de relacionar a origem e a qualidade dos lotes de resíduos utilizados, tendo como objetivo identificar inconformidades e problemas para a saúde humana, animal ou ambiental como resultado da aplicação de resíduos em plantios florestais e adotar medidas corretivas em caso de identificação de problemas na cadeia rastreada.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005**: procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.174**: armazenamento de resíduos classes II: não inertes e III: inertes: procedimento. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.221**: transporte terrestre de resíduos. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.847**: amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento: métodos de purga. Rio de Janeiro, 2010.
- BARRETTO, V. C. B. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto. 2008.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho, Jaboticabal.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. D. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul./dez. 1998. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/282198/1/abellote.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.
- BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, E. Resíduo de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [**Anais**]. Botucatu: UNESP. Faculdade de Ciências Econômicas, 1994. p. 97-120.



BETTIOL, W.; SANTOS, I. dos. Efeito do lodo de esgoto sobre fitopatógenos veiculados pelo solo: estudos de casos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 315-347.

BIAZUS, A.; HORA, A. B. D.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: celulose. **BNDES Setorial**, n. 32, set. 2010, p. 311-370. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1763/1/BS%2032%20Panorama%20de%20mercado%20celulose\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1763/1/BS%2032%20Panorama%20de%20mercado%20celulose_P.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2015.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. F.; ANDRADE, G. de C. Avaliação da lama de cal como corretivo da acidez do solo. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 125-128.

BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o código civil. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 8, 11 jan. 2002. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10406.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm)>. Acesso em: 24 fev. 2016.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm)>. Acesso em: 18 jun. 2015.

BRASIL. **Decreto no 8.059, de 26 de julho de 2013**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 jul. 2013. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8059.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8059.htm)>. Acesso em: 23/09/2015.

BRASIL. **Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014.** Altera o Anexo ao Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 dez. 2014. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm)>. Acesso em: 12 set. 2015.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 14 set. 2015.

BRASIL. **Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000.** Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 dez. 2000 e retificado em 9 jan. 2001. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L10165.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L10165.htm)>. Acesso em: 10/09/2015.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro 1998 e dá outras providências. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em 22 set. 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)> Acesso em 22/09/2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Aprovar as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 jul. 2009. Disponível em: <<http://www.laborsolo.com.br/arquivos/normativas/INM25.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 27 de 5 de maio de 2006. **Diário das Leis**, São Paulo, 2009. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jun. 2006. Disponível em: <<http://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelinck.php?numlink=211215>>. Acesso em: 15/09/2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 23 set. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS n.º 518/2004**. Brasília, DF, 2005. 28 p. (Série E. legislação em saúde).

BROWN, J. G.; DOMINGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas: o 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligochetas (Elaetao 3). **Acta Zoologica Mexicana**, número especial 2, p. 1 -18, 2010.

CARVALHO, P. de C. T. de. Compostagem. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. de C. T. de; MELFI, A. J.; MELO, W. J. de; MARQUES, M. O. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 181-208.

CARVALHO, A. G. M.; GUERRINI, I. A.; DO VALLE, C. F.; CORRADINI, L. A compostagem como processo catalisador para a reutilização dos resíduos de fábrica de celulose e papel. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 35., 2002, São Paulo. [Anais eletrônicos]. São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2002. p. 71-75. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/67285/2-s2.0-0037667899.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 set. 2015

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma técnica P4.002:** efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, 2010. 20 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma técnica P4.230:** aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projetos e operação. São Paulo, 1999a. 32 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma técnica P4.233:** lodos de curtumes: critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico. São Paulo, 1999b. 38 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decisão da Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos valores orientadores de 2005 e dá outras providências. **Diário Oficial:** Poder Executivo, São Paulo, v. 124, n. 36, p. 53, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2013/11/DD-045-2014-P53.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decisão de Diretoria n° 388/2010/P, de 21 de dezembro de 2010. Aprovação de premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo. **Diário Oficial:** Poder Executivo, São Paulo, v. 120, n. 243, p. 59-60, 2010. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2013/11/DD\\_388\\_DO.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2013/11/DD_388_DO.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Gerenciamento de resíduos em complexos integrados de papel e celulose.** Rio de Janeiro, 1989. 40 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n° 313 de 29 de outubro de 2002. Revoga a Resolução CONAMA n° 6/88. Dispõe sobre o inventário Nacional de Resíduos Sólidos industriais. In: \_\_\_\_\_. **Resoluções do CONAMA:** resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2002a. p. 810-824. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n° 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. In: \_\_\_\_\_. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2012b. p. 715-739. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n° 380, de 31 de outubro de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. In: \_\_\_\_\_. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2012c. p. 740-741. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n° 420, de 30 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. In: \_\_\_\_\_. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2012d. p. 899-915. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n° 460, de 30 de dezembro de 2013. Altera a Resolução CONAMA n° 420, 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 252, p. 153, 30 dez. 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>>. Acesso em: 22 set. 2015.

GLÓRIA, N. A. Uso agrônômico de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22, 1992, Piracicaba. **[Anais]** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 195-212. Disponível em: <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Nadir-Us0%20agron.%20Residuos-04.pdf>>. Acesso em 15 set. 2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Dados estatísticos**. Disponível em <<http://www.iba.org/pt/dados-e-estatisticas>>. Acesso em: 14 set. 2015.

MELO, L. A. S. Influência de lodos de esgoto nas populações de ácaros e colembolos de solo em cultura de milho. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 227-242.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011. Altera o anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de referência de qualidade dos solos. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 27 jul. 2011. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414>>. Acesso em: 23 set. 2015.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 386-414.

NIVA, C. C.; VIERA, B.; MOSKVEN D.; BROWN, J. G. Uso de enquitreídeos (Enchytraeidea, Oligochaeta) em ensaios ecotoxicológicos no Brasil. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 2011, Curitiba. **Resumos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; Sociedade Paranaense de Ciência do Solo, 2011. p. 114

PEREIRA, D. C. M. S. **Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução sustentável para os resíduos sólidos orgânicos da indústria de celulose e papel**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, Taubaté.

PERNAMBUCO. Agência Estadual do Meio Ambiente. Instrução Normativa CPRH nº 7, de 07 de julho de 2014. Estabelece os valores de referência da qualidade do solo (VRQ) do Estado de Pernambuco quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias. **Diário Oficial do Executivo**, Recife, 31 dez. 2014. Disponível em <<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=279789>>. Acesso em: 23 set. 2015.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 9 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 19). Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular\\_19.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_19.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2015.

RIO DE JANEIRO. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro. **Resolução CONEMA nº 44, de 14 de dezembro de 2012**. Dispõe sobre a obrigatoriedade da identificação de eventual contaminação ambiental do solo e das águas subterrâneas por agentes químicos, no processo de licenciamento ambiental estadual. Disponível em: <[http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1052411/DLFE-59663.pdf/Res\\_CONEMA\\_44\\_12.pdf](http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1052411/DLFE-59663.pdf/Res_CONEMA_44_12.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2015.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Hoessler. **Portaria FEPAM nº 85/2014**. Dispõe sobre o estabelecimento de valores de referência de qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria085-2014.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.

SCHNEIDER, V. E.; PERESIN, D.; TRENTIN, A. C.; BORTOLIN, T. A.; SAMBUICHI, R. H. **R. Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**: relatório de pesquisa. Brasília, DF: IPEA, 2012. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917\\_relatorio\\_residuos\\_organicos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2015.

**Embrapa**

---

**Florestas**

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA