



12

**Aplicação de resíduos
agropecuários,
urbanos e industriais em
plantios de eucalipto**

Shizuo Maeda
Márcia Toffani Simão Soares
Mario Vedovato Dias

Introdução

O setor florestal no Brasil representa importante atividade econômica e social, devido ao fornecimento de matérias-primas para a geração de energia (lenha, carvão), madeira para construção civil, movelaria, produção de celulose e papel, entre outras. O ambiente florestal é ainda passível de ofertar diversos serviços ambientais à sociedade, tais como a conservação da água e do solo, a ciclagem de nutrientes (Soares; Froufe, 2015), o suporte à regulação do clima e a manutenção da biodiversidade. A atual pressão do mercado e de segmentos da sociedade por iniciativas dos setores relacionados à sinergia das agendas voltadas à conservação e ao uso sustentável das florestas (Ahrens; Oliveira, 2017) aponta para a inegável importância dos diversos processos ecológicos atuantes no ambiente silvicultural.

A área de florestas plantadas no Brasil é estimada em 7,84 milhões de hectares, dos quais 35% são destinados à produção de celulose e papel; 13% à siderurgia a carvão; 6% ao setor de painéis de madeira e pisos laminados; 9% aos investidores financeiros; 30% aos produtores independentes; 4% para produtos sólidos e 3% para outros fins (IBÁ, 2019). Do total de área plantada, 5,7 milhões de hectares são ocupadas por eucalipto e 1,6 milhões de hectares por pinus (IBÁ, 2017).

Materiais não aproveitados em processos industriais, humanos e animais, sólidos, semi-sólidos, líquidos ou gasosos, quando há possibilidade de seu aproveitamento, são qualificados como resíduos ou, como rejeitos quando, com base nos conhecimentos disponíveis, não é possível o seu aproveitamento. Pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, resíduo sólido é qualificado como “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (Brasil, 2010, artigo 3º, inciso XVI). Conforme determina o artigo 9 dessa lei, “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”. Portanto, a disposição em aterros é a última opção a ser adotada e a responsabilidade pelo destino final dos resíduos gerados, nos mais diversos setores de produção, passou a ser dos geradores (Brasil, 2010). Dessa forma, espera-se que os geradores dos resíduos passem a investir, cada vez mais, em programas de reciclagem e reaproveitamento dos resíduos.

O solo, pelas suas características químicas e físicas, é um atraente meio de depuração de resíduos. Uma vez respeitado seus limites e quando adequadamente manejados, o solo tem sido utilizado para a disposição de resíduos como fonte de

nutrientes e matéria orgânica para o cultivo de espécies agrícolas ou florestais de interesse ao ser humano. Essa última possibilidade é vantajosa por contribuir para a reposição de nutrientes retirados com a colheita e para manter ou aumentar a capacidade produtiva dos solos, 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 do uso de resíduos como fertilizantes ou condicionadores do solo 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 ou florestal, é definido 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 organismos prejudiciais à saúde de seres humanos e de compostos potencialmente tóxicos ao ambiente e aos seres vivos.

O presente capítulo apresenta aspectos relacionados ao uso florestal de resíduos de origens humana, industrial e agroindustrial, suas potencialidades, limitações e desafios do setor relacionados à esta prática.

Fluxos de nutrientes e resíduos exógenos em plantios florestais

De modo geral, os plantios florestais apresentam particularidades que podem favorecer a aplicação de resíduos orgânicos exógenos no solo, quando comparados às culturas agrícolas. Nos sistemas florestais é possível o estabelecimento de práticas de manejo com reduzido contato humano com insumos, em função dos longos ciclos de crescimento das culturas florestais, da menor frequência de fertilização, espaçada em longos períodos (Poggiani et al., 2000) e devido à geração de produtos geralmente não voltados ao consumo humano ou animal (Gonçalves et al., 2000). Ainda quanto ao ambiente nutricional de povoamentos florestais, de modo geral, apresentam baixa fertilidade química, demandando, portanto, estratégias de construção da sua fertilidade com o aporte de matéria orgânica e nutrientes, especialmente para a reposição de fósforo, potássio e, em alguns casos, micronutrientes. A grande habilidade das plantas em imobilizar nutrientes e metais pesados pelo sistema radicular, abundante e bem distribuído, associado à boa capacidade de infiltração de água no solo, reduz os riscos de contaminação ambiental por escoamento superficial (Vaz; Gonçalves, 2002).

Para exteriorizar seu potencial produtivo, espécies florestais necessitam que sua demanda nutricional seja atendida em quantidades adequadas e sincronizadas

às diferentes fases de desenvolvimento da planta. Os mecanismos envolvidos na dinâmica de carbono e nutrientes de certos resíduos orgânicos, condicionados a fatores como estabilidade do material em campo, doses e formas de uso, podem permitir o suprimento das exigências nutricionais das árvores em diferentes estádios de seu desenvolvimento, atendendo no curto prazo, às exigências imediatas ao crescimento (Henry et al., 1994), em plantas com bom arranque inicial e, no longo prazo, pela contínua liberação de nutrientes para o solo e para o sistema radicular das árvores ao longo de vários anos (Zabowski; Henry, 1994), com condições de manutenção ou aumento da produtividade dos sítios florestais. Tais mecanismos contrapõem-se aos verificados nos insumos químicos de alta solubilidade e rápida disponibilização para o sistema solo-planta, que podem resultar em indesejáveis perdas de nutrientes do sistema de produção para outros compartimentos do ambiente (ex., lençol freático e atmosfera). Nas plantações florestais, a remoção da biomassa de madeira por meio da colheita representa expressiva exportação de nutrientes do talhão florestal, uma vez que a maior parte dos mesmos se encontra na biomassa do tronco (Bellote et al., 1980), conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidades de nutrientes e porcentagem exportada pelo tronco de *Eucalyptus grandis*, com 7 anos de idade, considerando uma produção de 355,44 m³ ha⁻¹ de volume sólido com casca⁽¹⁾.

Nutriente	Quantidade de nutrientes		
	(g planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(% do total)
N	260,14	390,21	72,00
P	20,19	31,22	86,90
K	177,43	264,15	81,20
Ca	386,92	580,38	86,40
Mg	85,47	128,21	92,90
S	106,11	159,17	81,20

⁽¹⁾ Bellote et al. (1980).

Além da retirada de nutrientes pela biomassa colhida, algumas condições estabelecidas nos intervalos entre a colheita e o fechamento do dossel do plantio de renovação podem resultar em perdas de matéria orgânica, tanto da biomassa residual sobre o solo como do próprio solo, tais como pelo estabelecimento de processos erosivos durante a movimentação de máquinas no preparo do solo e pela eventual queima de biomassa e emissão atmosférica de compostos voláteis. Em função do curto ciclo de rotação, da baixa fertilidade dos solos, das exportações de nutrientes pela retirada de biomassa e demais processos de perdas, a sustentabilidade dos talhões pode ser severamente comprometida caso medidas corretivas não sejam adotadas (Cook et al., 2016). Nesse

contexto, a aplicação de resíduos em plantios florestais como fertilizante ou condicionador do solo, pode atender tanto as demandas relativas à sustentabilidade dos sítios florestais, como equacionar passivos ambientais e econômicos relacionados à destinação dos mesmos, possibilitando sua disposição mais segura ao ecossistema e mais vantajosa economicamente.

Aspectos legais

O aproveitamento de resíduos como condicionador do solo e como fonte de nutrientes para as plantas é uma alternativa de disposição que deve atender a requisitos agrônômicos, ambientais, sanitários e econômicos. A opção por essa alternativa de utilização de resíduos torna o seu gerador responsável junto ao produtor rural e à sociedade, pela oferta de produtos que atendam aos requisitos mencionados. Dessa forma, a disposição no solo deve ser entendida como uma solução sustentável que retorna parte dos nutrientes exportados pela colheita ao sistema de produção e atende as normas legais vigentes no país.

Para a avaliação da viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso de qualquer resíduo como insumo florestal, algumas etapas devem ser seguidas, as quais envolvem: classificação do material a ser avaliado; caracterização agrônômica do material como fonte de nutrientes; avaliação de sua eficiência como fonte de nutrientes em condições controladas; avaliação de sua eficiência em condições de plantio, e análise de viabilidade econômica de seu uso como insumo.

A classificação é primordial para embasar a tomada de decisão em nível técnico, econômico, ambiental e legal quanto à destinação final do resíduo. Ela envolve a coleta, o manuseio, o tratamento, o acondicionamento, o transporte, a reciclagem e o aproveitamento agrícola/florestal. A classificação dos resíduos no Brasil é normatizada pela NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2004), que possibilita separar os resíduos conforme os seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, indicando formas de manuseio e gestão a cada tipo de resíduo e classificando-os em:

- Classe I - resíduos perigosos: devido à sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- Classe II A - resíduos não perigosos e não inertes: devido à sua biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Classe II B - resíduos não perigosos e inertes: quando nenhum de seus constituintes é solubilizado em concentração superior aos padrões de potabilidade da água, com exceção aos aspectos como cor, turbidez, dureza e sabor.

A legislação brasileira veda o uso agrícola de resíduos perigosos, devendo os mesmos ter outra forma de disposição, como em aterros, por exemplo, a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006 (Conama, 2006a). Por outro lado, os resíduos classe II B, em sua maioria, não apresentam potencial para uso como insumo florestal.

Para uso como insumo florestal, os resíduos classificados como Classe II A deverão também ser caracterizados quanto ao potencial agrônômico, à presença de substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, aos indicadores bacteriológicos, à presença de agentes patogênicos e à estabilidade (Conama, 2006a).

Um projeto agrônômico voltado ao uso de resíduos em áreas 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 375/2006 e nº 380/2006 (Conama, 2006a, 2006b) 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 locais e de aptidão do solo das áreas de aplicação; e d) o monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado. Na indisponibilidade de legislação específica para resíduos sólidos industriais, a Resolução Conama nº 375/2006 (Conama, 2006a) é utilizada como referência para a gestão do resíduo em relação ao uso como insumo agroflorestal.

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 P4.230 (Cetesb, 1999a); P4.233 (Cetesb, 1999b); P4.002 (Cetesb, 2010).

Os resíduos que apresentam benefícios agrônômicos podem ser registrados ou ter 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 4.945/2004, Brasil, 2004). Para tanto, parâmetros de qualidade relativos à presença de contaminantes e a garantia de benefícios agrônômicos 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 4.954/2004 (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 SDA 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, 2009). Na Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho 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 do Paraná, para o uso agrônômico de dejetos suínos (DS), as áreas para aplicação poderão ser classificadas de acordo com o sistema baseado no risco ambiental das terras, apresentado na Instrução Normativa IAP/Diram 105.006 (IAP, 2009). Outras recomendações técnicas são apresentadas adiante, no presente capítulo.

Caracterização e uso florestal

Biossólidos (lodo de esgoto)

O tratamento de efluentes humanos, residenciais ou comerciais, em estações próprias, resulta em materiais residuais conhecidos como lodo de esgoto ou biossólido (BS), de disposição final problemática no processo operacional das estações de tratamento, e que pode representar elevado custo operacional. A sua composição química é variável, sendo influenciada pela sua origem, pelo processo de tratamento do efluente, além da sazonalidade do material tratado na estação de tratamento de esgoto (Hue, 1995; Bettioli; Camargo, 2006; Berton; Nogueira, 2010; Ferraz et al., 2016). Dados apresentados por Bettioli e Camargo (2006) mostram grandes variações nos teores de

carbono, macro e micronutrientes e elementos potencialmente tóxicos presentes no material, em função da composição inicial do esgoto tratado e do processo tecnológico adotado para o tratamento. Os autores estimaram concentrações, em g kg^{-1} , entre 201 a 382 para C; 21,2 a 68,2 para N total; 0,95 a 26,9 para P; 0,34 a 1,5 para K; 6,6 a 47,8 para Ca; e 1,3 a 4,5 para Mg. Para evitar a contaminação do solo por elementos tóxicos, regulamentos como as resoluções 375 e 380/2006 (Conama, 2006a, 2006b), disciplinam a aplicação de BS, estabelecendo critérios como a concentração máxima permitida no lodo e carga máxima acumulada de metais pela sua aplicação.

No Brasil, o uso de BS tem sido avaliado em diferentes fases de produção florestal, com resultados promissores quanto ao desenvolvimento do eucalipto em viveiro e no campo. Trigueiro e Guerrini (2003); Caldeira et al. (2013, 2014), Kratz et al. (2013) e Silva et al. (2018), comparando mudas do gênero *Eucalyptus* desenvolvidas em substratos comerciais e em substrato a partir de BS, verificaram a viabilidade em utilizar tais resíduos em viveiros florestais. O desenvolvimento das árvores em plantios experimentais, em diferentes fases do cultivo, foi estudado por Vaz e Gonçalves (2002), Soares et al. (2003), Rocha et al. (2004), Barreiros et al. (2007), Lira et al. (2008), Silva et al. (2008a, 2008b, 2011), Arruda et al. (2013), Ferraz et al. (2016) e Abreu Junior et al. (2017). Esses autores verificaram que árvores submetidas ao uso do BS podem apresentar crescimento similar ou superior às árvores submetidas ao uso exclusivo de fertilizantes minerais convencionais. Em algumas circunstâncias, a associação de BS com fertilizantes minerais é desejável, devido à elevada exigência de nutrientes na fase inicial de desenvolvimento do eucalipto, especialmente o P, em virtude da lenta mineralização da matéria orgânica contida no BS e consequente liberação de nutrientes nela contida (Vaz; Gonçalves, 2002; Rocha et al., 2004; Soares, 2003). A qualidade da madeira com uso de BS foi reportada por Barreiros et al. (2007), que observaram redução da densidade básica compensada, entretanto, pela maior produtividade do povoamento. O efeito do uso de BS nas concentrações de nutrientes no tecido foliar das plantas, em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, também foi reportado por Andrade e Mattiazzo (2000), Guedes e Poggiani (2003), Soares et al. (2003), Rocha et al. (2004), Silva et al. (2008b, 2011), sendo que os reflexos destas alterações sobre a produção de serapilheira e as transferências de nutrientes entre os componentes do ecossistema foram descritos com detalhes por Guedes (2000, 2005), Lira et al. (2008) e Silva et al. (2011).

No tocante aos efeitos de BS no solo, diversos trabalhos conduzidos no Brasil para avaliar o efeito da aplicação de BS em plantios de eucalipto relatam efeitos positivos sobre atributos físicos do solo, como a melhoria da estrutura, retenção de água e aeração, bem como em parâmetros químicos do solo, tais como a diminuição da retenção de P nos minerais de argila, na diminuição da acidez, na complexação do Al trocável, no aumento da capacidade de troca de cátions e na disponibilidade de nutrientes (Santos Filho; Tourinho, 1981a, 1981b; Hue, 1995; Vaz; Gonçalves, 2002;

Soares et al., 2003; Melo et al., 2004; Souza et al., 2005; Guedes et al., 2006; Maria et al., 2007; Corrêa et al., 2007; Campos; Alves, 2008; Maio et al., 2011; Campos et al., 2011; Bonini et al., 2015; Ferraz et al., 2016; Florentino et al., 2019). Devido ao grande aporte inicial de matéria orgânica no sistema, alguns autores apontam a viabilidade do uso destes resíduos na recuperação de solos degradados sob uso florestal, devido à recuperação de propriedades físico-hídricas do solo, dentre diversos fatores, (Campos et al., 2011), o incremento de parâmetros relacionados à fertilidade (Soares et al., 2003) e à atividade biológica do solo (Colodro et al., 2007). Efeito indireto do uso de BS na qualidade da matéria orgânica do solo é reportado por Andrade et al. (2005), que apontam maior concentração de lignina na camada superficial do solo, em área sob uso de BS (dose 40 Mg ha⁻¹ + suplementação com K), comparativamente às áreas sem uso deste resíduo, justificado pelo aumento na produção e na queda de folhas senescentes das árvores. A não consensualidade quanto às alterações nas concentrações de C da biomassa microbiana do solo (Teixeira et al., 2004; Colodro et al., 2007), bem como nas concentrações de C e de N no solo sob aplicação de bio sólido (Soares et al., 2003; Andrade et al., 2005; Lira et al., 2008; Florentino et al., 2019) e explicitam a importância das particularidades de cada ambiente estudado, para adequação das recomendações às condições intrínsecas a cada sistema, tais como tipo de solo, o manejo adotado, o tempo de contato do resíduo com o ambiente estudado e a qualidade do resíduo utilizado. Neste contexto, considerando que mudanças na mineralização da matéria orgânica do solo podem resultar em aumento do fluxo de CO₂ e N₂O (Teixeira et al., 2004; Fernandes et al., 2005; Chiaradia et al., 2009), é imprescindível a atenção às boas práticas de manejo do resíduo com vistas a compensar tais emissões, por meio do sequestro de C no sistema florestal (Fernandes et al., 2005; Teixeira, 2006).

No que se refere à presença de elementos potencialmente tóxicos, Lourenço et al. (1999), em trabalho de parceria com a Embrapa Florestas e a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), não observaram alterações nas concentrações de Cd, Cr, Pb e Ni, com a aplicação de até 70 Mg ha⁻¹ de BS em cultivo de bractinga (*Mimosa scabrella*). Com relação à mobilidade de metais pesados, em solos sob plantios florestais no Brasil, foi verificado tanto a não movimentação de alguns elementos no perfil do solo sob uso de BS para Cd, Cr, Cu, Ni, nas doses 10 Mg ha⁻¹ a 40 Mg ha⁻¹ (Lourenço et al., 1999; Andrade; Mattiazzo, 2000), para Cd, Cr, Mn, Ni e Pb (Anjos; Mattiazzo, 2000) e para Cd, Cr, Hg, Pb e Ni (Correa et al., 2008), quanto o aumento nos teores de alguns elementos, conforme verificado por Florentino et al. (2019) em solo sob eucalipto, entre 10 e 17 anos após aplicação deste resíduo, para os oligoelementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se e Zn. Importante salientar que, nesta pesquisa, tais elementos não superaram os valores de referência de qualidade do solo preconizados para a região experimental (estado de São Paulo), o que resultaria em baixo risco, em termos de contaminação do solo. Florentino et al. (2019) orientam que se evite generalizações sobre os efeitos residuais de longo prazo relacionados às

aplicações de BS, uma vez que uma série de fatores pode influenciar nas respostas do sistema estudado, como as condições de clima, de solo, as características e quantidades do BS. Verifica-se, desta forma, a importância da condução de estudos em condições de campo (Abreu Júnior et al., 2019) no longo prazo (Florentino et al., 2019), para orientar produtores e formuladores de políticas públicas sobre as melhores práticas para seu aproveitamento e manejo, bem como para avaliar melhor os riscos ambientais da aplicação de BS nos plantios florestais.

Resíduos da produção de celulose e papel

Os lodos gerados nas estações de tratamento de efluentes são os principais resíduos gerados na obtenção da celulose, variando de 28,2% a 58,6% do total dos resíduos gerados, seguidos por *dregs* e *grits*, variando de 3,0% a 8,1% e as cinzas leves que variam de 0,7% a 2,2% (CNI, 1989). A lama de cal tem geração intermitente e ocorre em momentos em que haja necessidade de manutenção dos equipamentos utilizados no processo de recuperação do licor de cozimento dos cavacos de madeira. As principais características destes resíduos são apresentadas a seguir:

Lodos da estação de tratamento de efluentes (ETE)

Os efluentes líquidos gerados no processamento de madeira para produção de celulose e papel e reciclagem de aparas de papel são tratados em ETE, sendo o processo de tratamento do efluente dividido em três etapas, resultando em três tipos de resíduo: i) primário (decantação – impurezas: cargas minerais e terra e fibras não recuperáveis); ii) secundário (reator biológico – matéria orgânica); iii) terciário (clarificação – basicamente hidróxido de alumínio). Por questões técnicas, operacionais e financeiras, há casos em que os lodos são adensados e desaguados conjuntamente, podendo denominar o lodo resultante como lodo misto.

A composição química do lodo celulósico é influenciada pela origem dos efluentes. Assim, o tratamento de efluentes em complexos de reciclagem de aparas de papel branca geram lodos distintos daqueles da reciclagem de aparas não branqueada que, por sua vez, são distintas daqueles lodos gerados no tratamento de efluentes da extração de celulose (Bergamin et al., 1994; Moro, 1994; Maeda et al., 2013).

Dregs, grits e lama de cal

Esses resíduos são gerados nas diferentes etapas do processo de recuperação do licor de cozimento da madeira para extração da fibra celulósica, no processo Kraft. O *dregs* é um resíduo gerado na caldeira de recuperação do licor de cozimento (clarificação do licor verde), sendo uma impureza do processo de combustão do licor negro concentrado. É um resíduo sólido, de cor escura, odor característico, de granulometria

fina e natureza alcalina. 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. Conforme Waldemar e Herrera (1986), o poder de neutralização do dregs é equivalente ao carbonato de cálcio puro. Por sua vez, o grits é gerado no processo de decomposição térmica da lama de carbonato de cálcio proveniente da caustificação no forno de cal (apagamento da cal virgem). Apresenta cor escura, sem odor, de natureza alcalina com granulometria média. Em sua composição predomina o CaO (53%), silicatos (41,50%), MgO (1,83%), Na (0,13%) e K₂O (1,20%). Embora coletados separadamente, com frequência o dregs e o grits são misturados e depositados em aterros industriais. Conforme Waldemar e Herrera (1986) o poder de neutralização do grits é equivalente a 72% do carbonato de cálcio puro e a mistura com o dregs resulta num composto com poder de neutralização médio de 82% (Waldemar; Herrera, 1986; Bergamin et al., 1994).

A lama de cal é gerada na etapa de caustificação, no processo de recuperação do licor de cozimento. Nessa etapa, é utilizada a cal hidratada, a qual se transforma em carbonato de cálcio, sendo tratada num processo de combustão e hidratação, para retornar ao processo como cal hidratada. Nos momentos em que houver 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 CaO (34%), pobre em MgO (0,8%) e com a presença de sódio em baixos níveis (1,5%).

Cinzas

Geradas pela queima de biomassa de madeira – cavacos e cascas - em caldeiras para geração de energia elétrica ou vapor. A composição da cinza de biomassa depende da matéria-prima utilizada e também da requeima do resíduo. Trata-se de um resíduo alcalino, com predomínio de CaO (25% a 35%), SiO₂ (18% a 25%), K₂O (10% a 15%), MgO (6% a 7%) e P₂O₅ (1,6% a 3,4%), indicando o potencial da cinza como condicionador do solo e como fonte de nutriente para as plantas (CNI, 1989). Comparadas ao *dregs*, *grits* e lama de cal, as cinzas são mais equilibradas nutricionalmente e podem, com restrições, ser comparadas aos fertilizantes formulados.

Uso em plantios florestais

Os componentes orgânicos e inorgânicos do lodo celulósico, da cinza de biomassa de madeira, da lama de cal, do *dregs* e do *grits* podem ter efeitos positivos, especialmente em solos que apresentam baixos conteúdos de matéria orgânica e nutrientes. Isolado ou em misturas, esses materiais têm sido avaliados como fontes de nutrientes, para a produção de mudas de espécies de eucaliptos e em plantios. Considerando a

contribuição dos resíduos gerados pelas indústrias de celulose e papel sobre a fertilidade do solo e sobre atributos físicos do solo, é pertinente se esperar efeitos positivos sobre a produtividade de eucalipto quando aplicado de acordo com as suas necessidades.

No Brasil, um dos primeiros estudos para avaliar a qualidade agronômica de resíduo de indústria de celulose e papel foi realizado por Tedesco e Zanotto (1978). Os autores, avaliando o efeito do *grits* em características químicas de um Oxisol (unidade Vacaria), no Rio Grande do Sul, observaram que o efeito das frações mais finas do resíduo sobre a acidez e o Al trocável foi similar ao de um carbonato de cálcio e que a eficiência das frações mais grosseiras melhorou com o tempo de reação. Albuquerque et al. (2002), Trigueiro (2006), Barreto (2008), avaliando o efeito de *dregs* e *grits*, isolados ou em misturas, nas características químicas e físicas do solo, observaram a redução do teor e da saturação por Al, aumento do pH e dos teores de Ca, Mg, K e Na trocáveis, do potencial elétrico negativo do solo e ausência de efeito na estabilidade dos agregados.

Estudos conduzidos pela Embrapa Florestas, com a parceria da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), da Iguaçú Celulose e Papel S.A. e da Irani Papel e Embalagem S.A. mostraram efeitos positivos da lama de cal sobre o pH e teores de Ca no solo, podendo ser caracterizado como um substituto do calcário calcítico (Bognola et al., 1997; Lourenço, 1997; Maeda et al., 2011; Maeda; Bognola, 2013; Simonete et al., 2013). Todavia, devido ao baixo teor de Mg normalmente presente na lama de cal, o seu uso em solos com baixo teor do nutriente pode ser prejudicial, em virtude da inibição competitiva entre os mesmos, sendo necessário precauções em sua aplicação. Segundo Lourenço (1997) e Maeda et al. (2011), o efeito do Na sobre a dispersão da argila, diminuindo a permeabilidade, a aeração, prejudicando o manejo do solo e o desenvolvimento de plantas sensíveis ao elemento é irrelevante, nos teores presentes na lama de cal estudada.

Barros et al. (1982), avaliando o efeito da cinza remanescente da queima de resíduos vegetais da colheita de biomassa de *Eucalyptus grandis*, nas características químicas do solo, encontraram aumentos consideráveis nos teores de P, K, Ca e Mg, C e N, na camada de 0-20 cm. Em condições controladas, Silva (2008) avaliando o efeito de doses de cinza de biomassa florestal, em Cambissolo Húmico Álico e Nitossolo Háplico encontrou aumentos nos teores de K, P, Ca, Mg, na soma de bases e na saturação por bases, com pequena elevação no pH do solo. Maeda e Bognola (2013), em trabalho conduzido pela Embrapa Florestas, com a parceria da Companhia Volta Grande de Papel e a Irani Papel e Embalagem S.A., avaliaram o efeito de cinza de biomassa de duas fontes e de lodos da reciclagem de papel e da extração de celulose nas características químicas de um Neossolo Regolítico distrófico húmico. Verificou-se que a acidez do solo e os teores de Al diminuíram com a aplicação dos materiais estudados e que esses materiais promoveram aumentos nos teores de Ca, Mg, K e P.

Os efeitos mais expressivos foram observados com a aplicação do lodo da reciclagem de papel, principalmente no teor de Ca.

Diversos trabalhos foram conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação desses resíduos em plantios de eucalipto, com resultados positivos sobre a produtividade de madeira e alguns casos mostraram ganhos de produtividade equivalentes ou superiores aos obtidos com a aplicação de adubos minerais. Isolados ou em mistura, estudos conduzidos por Barros et al. (1982), Stape e Balloni (1988), Stape e Zani Filho (1990), Benedetti (1994), Guerrini e Moro (1994), Moro (1994), Fabres et al. (1994), Bellote et al. (1998), Trigueiro (2006) e Barreto (2008), para avaliar o efeito de doses de *dregs*, *grits*, cinza e lodo celulósico, combinados ou não entre os resíduos, com ou sem adubações minerais, em diferentes espécies de eucalipto, idades e condições edafoclimáticas encontraram incrementos de produtividade que variaram de 10% a 465%.

Trabalhos conduzidos pela Embrapa Florestas, com as parcerias da Indústria de Papel Arapotí S.A. (Inpacel) (Andrade et al., 2003), International Paper do Brasil (Dedecek; Bellote, 2008), Irani Papel e Embalagem S.A. (Maeda et al., 2015, 2018); da Companhia Volta Grande de Papel (Maeda et al., 2017), para avaliar o efeito de resíduos como a lama de cal, lodo celulósico, cinzas combinadas ou não entre si e com fertilizantes minerais, com diferentes espécies de eucalipto, em diferentes condições edafoclimáticas, no geral, mostraram aumentos na produtividade de biomassa com a aplicação dos resíduos. Andrade et al. (2003), observaram, aos 72 meses de idade, efeitos quadráticos de P em cada dose de lodo aplicado e que, à medida que se aumentou a dose de lodo, houve a redução da necessidade de P para a máxima produtividade de biomassa de *E. dunnii*. Dedecek e Bellote (2008), estudando o efeito da manutenção e retirada de resíduos da colheita de eucalipto combinado com a aplicação de lodo celulósico e cinza de biomassa de madeira no plantio de *E. grandis*, em duas classes de solo, observaram maior crescimento em altura e diâmetro a altura do peito das árvores nos tratamentos onde foram mantidos os resíduos da colheita na superfície do solo, principalmente no solo de textura média que normalmente apresenta maior deficiência química, menor capacidade de retenção de nutrientes e disponibilidade hídrica, comparado ao solo argiloso estudado. Com a retirada total dos resíduos de colheita, a aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de lodo celulósico e 4 Mg ha⁻¹ de cinza de biomassa de madeira proporcionou aumento de 65% no volume cilíndrico de madeira. O menor volume foi obtido na ausência de resíduos de colheita e resíduos industriais. Maeda et al. (2018), avaliando o efeito da combinação de lama de cal e cinza de madeira em plantio de *E. benthammi*, com 72 meses de idade, mostraram que a aplicação combinada dos resíduos apresentou produções de biomassa de tronco superiores à aplicação isolada dos mesmos, com efeitos quadráticos, com as maiores produções de biomassa de tronco sendo obtidos com a aplicação de 5 Mg ha⁻¹ da mistura. A produção de biomassa de tronco obtida com a aplicação de 5 Mg ha⁻¹ da mistura foi

superior em 46% àquela obtida com a aplicação de 3 Mg ha⁻¹ de cinza de madeira e 57% àquela obtida com a aplicação de 4 Mg ha⁻¹ de lama de cal. A aplicação de 1,5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico apresentou produção superior à aplicação isolada de lama de cal e de cinza de madeira e inferior à aplicação combinada de ambos os materiais. Maeda et al. (2018), avaliando o efeito da aplicação de lodo da reciclagem de papel, calcário dolomítico e de cinza de madeira em plantio de *E. benthammi*, observaram, aos 80 meses de idade, que a aplicação isolada de calcário e de cinza de madeira, em doses estimadas para elevar a 5,5 o pH em água, pelo método do pH SMP (12,5 Mg ha⁻¹), resultaram nos maiores volumes de madeira; quando a aplicação do lodo (25%) foi combinada com calcário dolomítico (75%), a biomassa produzida se equipaleu à aquela obtida com aplicação isolada de calcário dolomítico. O lodo celulósico estudado é um material alcalino, com elevado teor de Ca e reduzido teor de Mg e os aumentos proporcionados pela aplicação isolada desse material foram reduzidos.

Com relação ao efeito da aplicação de lodo celulósico sobre a mesofauna do solo, Santana et al. (2006), em estudo conduzido pela Embrapa Florestas, com a parceria da Indústria de Papel Arapoti S.A.- Inpacel, concluíram que o lodo celulósico estudado apresentou efeito positivo sobre a população de ácaros e colêmbolas.

Toledo et al. (2015), estudando a qualidade das mudas do híbrido “urograndis” produzidas em substratos contendo composto orgânico nas proporções 40:60 e 20:80 (substrato base: composto orgânico), proveniente de resíduos de fábrica de papel e celulose, mostraram a superior qualidade das mudas produzidas com o substrato base de controle, de acordo com as variáveis avaliadas.

Resíduos de granjas suinícolas: os dejetos suínos

A suinocultura compreende um rebanho mundial de 773 milhões de cabeças (USDA, 2018), atendendo mais de 36% do consumo de carne no planeta, superior ao consumo de aves e carne bovina, que representa 35% e 22% do consumo mundial, respectivamente (FAO, 2019). O Brasil é o 4º maior produtor de suínos em quantidade de cabeça animal, atrás somente da China, União Européia e Estados Unidos (USDA, 2018). O principal resíduo gerado durante o processo de cria e engorda é o chamado “dejeito suíno” (DS), com volume médio estimado entre 1,4 a 27 (IAP, 2009) e 2 e 47 (IMA, 2009) litros de dejeito por animal ao dia, variável conforme o modelo de sistema de produção. Possui composição essencialmente orgânica, constituído por restos de ração, água dos bebedouros, urina, fezes e pelos, equivalendo, em média, de 5% a 8% do peso do animal (Vivan et al., 2010). De acordo com Menezes et al. (2002), possivelmente a forma líquida representa mais de 95% dos DSs gerados no Brasil, sendo o excesso de água um fator que muitas vezes inviabiliza economicamente seu transporte e aplicação. Esses dejetos apresentam diversos nutrientes em sua composição, em quantidades muitas vezes desproporcionais à demanda das culturas.

Destes nutrientes, merecem atenção os teores de N, P, Cu e Zn (Corrêa, 2011b), sendo que o Cu e o Zn normalmente apresentam teores elevados devido à suplementação alimentar e à presença em medicamentos utilizados nos cuidados com a saúde dos animais. A aplicação de DS no solo é uma prática geralmente verificada em culturas agrícolas e em espécies forrageiras (Assmann et al., 2007, 2018; Medeiros et al., 2007; Miranda, 2007, Giacomini; Aita, 2008; Balota et al., 2014; Scherer et al., 2015), sendo escassos os estudos relacionando o uso de dejetos animais em plantios florestais (Marron, 2015).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados disponíveis na literatura, relacionados ao uso de DS em sistemas florestais. Nesta, pode-se observar que os artigos publicados nos últimos doze anos são referentes a plantios em condições pedoclimáticas, formas de tratamento, qualidade e grau de maturação do resíduo muito diversificadas. Apesar da heterogeneidade das condições avaliadas, os resultados neles contidos indicam grande potencial de uso como biofertilizante ou como condicionador de DS em solos sob plantios com espécies arbóreas de rápido crescimento.

No Brasil, os primeiros resultados sobre o uso de DS em eucalipto foram relatados por Ribeiro et al. (2015) e De Sá Vanin et al. (2017), ambos obtidos em condições de casa de vegetação. Mais recentemente, a parceria entre a Itaipu Binacional, a CiBiogas e a Embrapa Florestas tem possibilitado a estruturação de uma rede de pesquisa voltada à produção e uso de espécies de eucaliptos introduzidas no Oeste do Paraná, para atendimento à grande demanda regional por biomassa florestal, para fins energéticos. No âmbito desta parceria, ações de pesquisa sobre o uso de DS na forma líquida - DLS - em eucalipto estão sendo realizadas na Unidade Hidrográfica Piquiri-Paraná 2, cujo principal curso d'água, o Rio Piquiri, desagua próximo ao reservatório formado pela Usina Hidroelétrica de Itaipu, de importância internacional, por constituir a maior produção acumulada de energia hidroelétrica do mundo (Itaipu Binacional, 2017). O Relatório Anual da Itaipu Binacional de 2017 aponta, como uma fragilidade a ser equacionada, a eutrofização do reservatório devido ao acúmulo de sedimentos advindos de áreas agrícolas, carentes quanto à adoção de práticas conservacionistas e disposição de dejetos de suinocultura e bovinocultura sem tratamento adequado (Itaipu Binacional, 2017).

Em atendimento a estas demandas, Wrege et al. (2018) e Soares et al. (2018, 2019) disponibilizaram informações regionais relacionados à aptidão de solos, a zonas climáticas favoráveis ao desenvolvimento de eucalipto e manejo de fertilidade do solo no estabelecimento inicial da espécie, com o uso de adubos minerais e DLS tratados (estabilizados em lagoas). No estabelecimento inicial do clone AEC 144, em um Latossolo Vermelho Distrófico, textura média/argilosa, a eficiência do DS para o desenvolvimento inicial das plantas, nas doses $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e na dose $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ mais fósforo solúvel foi similar ao observado com o uso de fertilizantes minerais sintéticos (NPK), indicando a possibilidade de substituição parcial do fertilizante

Tabela 2. Síntese dos resultados encontrados na literatura referentes ao efeito de dejetos suínos em plantios florestais, sob condições controladas

Local	Resíduo	Espécie	C. E. ⁽¹⁾	Principais resultados	Referência	
1	Canadá	Mistura de biossólido da indústria de papel e celulose com DLS	<i>Populus</i> spp.	cp	Aumento na produção sob uso simultâneo dos dois resíduos.	Lteif et al. (2007)
2	“	Dejeto líquido de suínos (DLS)	<i>Salix</i> sp.	cp	Aumento da produção de fitomassa pelo uso de DLS, que possibilitaria redução dos ciclos de rotação, com significativa diminuição dos custos de produção.	Cavanagh et al. (2011), Guidi et al. (2013)
3	Quebec Canadá	Dejeto líquido de suínos (DLS)	<i>Populus</i> spp.	cp	Aumento no tamanho, volume, fitomassa e conteúdo de carbono na espécie, bem como aumento dos teores foliares de N e K comparado com o tratamento controle. Manutenção da capacidade de sequestro de C da biomassa aérea similar aos plantios comerciais.	Lafleur et al. (2012)
4	República da Coreia	Biofertilizante: da compostagem e biofiltração de dejetos suíno (“SCB liquid fertilizer”)	<i>Populus alba</i> × <i>glandulosa</i>	cv	Maior produção de matéria seca da parte aérea de plantas em solo contaminado com Cd e Pb.	Han et al. (2012)
5	Estônia	DLS biodigerido (digestato)	<i>Salix</i> sp.	cv	Maior produção de fitomassa nos tratamentos sob uso de DLS quando comparado com fertilização mineral.	Holm e Heinsoo (2014)
6	Brasil	Lodo oriundo de lagoas (granjas suínocolas)	eucalipto clone <i>AEC 1528</i>	cv	Produção de matéria seca semelhante sob uso de resíduo e fertilização química.	Ribeiro et al. (2015)
7	China	Dejetos bovino, suíno e fertilizante orgânico	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	cv e cp	Melhor desenvolvimento da espécie sob uso dos resíduos.	Meeinkuir et al. (2016)
8	Brasil	Lodo oriundo de lagoas (granjas suínocolas)	híbrido “urogran-dis” 3241 (GG100)	cv	Parâmetros de produção similares entre tratamentos sob fertilização química e sob lodo.	De Sá Vanin et al. (2017)
9	Brasil	Dejeto líquido de suínos (sistemas de lagoas de estabilização)	<i>Eucalyptus urophylla</i> clone AEC 144	cp	Desenvolvimento das plantas, nas doses 80 m ³ ha ⁻¹ e na dose 10 m ³ ha ⁻¹ mais fósforo solúvel foi similar ao observado com o uso de NPK.	Soares et al. (2018, 2019)

⁽¹⁾ Condições experimentais: “cp” campo; “cv” casa de vegetação.

mineral pelo DLS, durante o estabelecimento inicial da cultura (Soares et al., 2019). É importante considerar que, embora parâmetros de produtividade sejam insuficientes para avaliar a sustentabilidade de sistemas adubados com dejetos animais no longo prazo (Seganfredo et al., 2007), tais resultados constituem nos primeiros relatos, sob condições experimentais de campo, acerca do desenvolvimento da espécie florestal mais utilizada em plantios comerciais no Brasil (Stape et al., 2010) e de um material genético entre os mais indicados para plantios que visem ao fornecimento de matéria-prima para geração de energia (Santos; Paludzyszyn Filho, 2014).

Apesar da carência de informações referentes ao uso de resíduos de origem animal em espécies florestais de rápido crescimento, documentos técnicos fornecem diretrizes para o uso racional de DS no solo, em atenção ao aproveitamento dos nutrientes pelas culturas, concomitante à capacidade de assimilação e reciclagem do sistema de produção, conforme sumarizado a seguir:

- Para o estado do Paraná, os fundamentos e aspectos legais, características, critérios, procedimentos, dentre outros, para a concessão de Licenciamento e/ou autorização ambiental de empreendimentos de suinocultura, incluindo-se o uso agrícola de DS, estão sintetizados na Instrução Normativa 105.006/2009 (IAP, 2004, 2009). Os critérios mínimos para a aplicação dos dejetos no solo para fins agrícolas são apresentados no Anexo 5 da IN 105.006/2009 que, dentre alguns fatores, orienta que o dejetos a ser utilizado deve respeitar os teores limites de cobre e de zinco de 2.500 e 1.000 mg kg⁻¹ de matéria seca, respectivamente, a fertilidade e condições físicas do solo e a recomendação de adubação para a cultura utilizada (IAP, 2004). Orientações técnicas adicionais referentes à aplicação do DS em culturas agrícolas ou florestais, como uso de fórmulas e coeficientes para cálculos de volume e teores limites de nutrientes no solo que devem ser evitados são apresentados por Pauletti e Motta (2017).
- Para fins de uso agrícola e florestal do DS, a necessidade e importância da obtenção de informações como o tipo de solo, topografia e histórico de adubações, bem como a avaliação da fertilidade do solo, da composição química do dejetos e da necessidade nutricional da cultura são enfatizados por Corrêa et al. (2011a).
- Os critérios de aptidão de terras paranaenses para utilização do DS são apresentados por IAP (2004).
- Aspectos práticos relacionados ao controle da qualidade do resíduo em campo, antes de sua disposição no solo, por meio da sua densidade volumétrica ou concentração de sólidos, com certa ressalva são sugeridos por Scherer et al. (1995), Miranda et al. (1999), Diesel et al. (2002), Corrêa et al. (2011a), Miyazawa e Barbosa (2015), Pauletti e Motta (2017) e Vedovato et al. (2019).

No tocante aos benefícios do tratamento e uso de DS em sistemas florestais, salienta-se que ambas as práticas podem ser manejadas como estratégias mitigadoras da emissão de gases do efeito estufa (GEE), conforme estabelecido pelo plano ABC - Agricultura de Baixo Carbono do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2017). Conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), órgão científico vinculado à Organização das Nações Unidas (ONU) e à Organização Meteorológica Mundial (OMM), a mitigação corresponde a uma intervenção antropogênica voltada a reduzir as emissões ou aumentar os sumidouros de gases do efeito estufa (IPCC, 2014). O interesse crescente pelo tema na comunidade científica é justificado pela necessidade de enfrentamento multidisciplinar da questão, com foco na geração de subsídios técnicos à elaboração, aprimoramento de tecnologias e na formação de políticas públicas (King et al., 2018; Smith et al., 2018).

Demandas relacionadas à C&T

A geração de resíduos industriais e de dejetos de suínos segue uma lógica de mercado, com oscilações na quantidade gerada, associada à demanda de seus produtos. Por outro lado, a geração de bio sólidos depende da implantação de redes coletoras de efluentes e de estações de tratamentos dos mesmos. No Brasil, há uma grande deficiência na implantação e operação de estações de tratamento de efluentes. Segundo o Instituto Trata Brasil (2019), 52,4% da população brasileira é servida por rede de coleta de esgotos e, do total coletado, apenas 46% é submetido a tratamento. Isso indica que a ampliação do serviço de coleta e tratamento de esgoto têm um potencial de aumentar em quatro vezes a quantidade de bio sólido gerado nas estações de tratamento de efluentes sanitários no Brasil. Apesar do grande potencial de oferta de bio sólido, é de se supor que a sua disposição em plantios florestais, principalmente naqueles destinados ao fornecimento de matéria-prima para a produção de celulose, poderá ser limitada pela concorrência dos resíduos gerados pelas indústrias de celulose, que priorizará o aproveitamento de seus próprios resíduos.

As informações sobre os resíduos aqui apresentadas evidenciam o potencial para aproveitamento como fonte de nutrientes e condicionador de solos, sendo os plantios florestais comerciais uma alternativa para a sua disposição. Todavia, há lacunas no conhecimento para implantação de sistemas com o princípio de tecnologia verde visando sua sustentabilidade e mitigação de impactos ambientais, com segurança da aceitação do produto final em um mercado internacional cada dia mais exigente e competitivo neste aspecto. Seguem algumas demandas de fomento e pesquisa em âmbito nacional:

- Adequação de doses, épocas e formas de aplicação do (s) resíduo (s) em plantações de eucalipto, visando diminuir o uso e a dependência de insumos exógenos, manter ou incrementar a matéria orgânica do solo e reduzir a emissão de GEE, considerando especificidades regionais tais como o nível tecnológico adotado e condições pedoclimáticas.
- Estudos de longo prazo para o monitoramento do sistema solo-planta-atmosfera quanto à capacidade de reciclagem de resíduos e proteção aos recursos naturais. Neste tocante, é fundamental a regionalização dos esforços de pesquisa, considerando a grande variabilidade do ambiente físico, tecnológico e sociocultural e a evolução temporal dos sistemas e das condições de produção.
- Especificamente no que se refere aos dejetos de suínos, as demandas estão relacionadas à ampliação de redes multidisciplinares de pesquisas, que atuem no longo prazo e que sejam voltadas à geração, à adaptação e à viabilização econômica de tecnologias mais limpas, tais como a compostagem (Sardá et al., 2010; Grave et al., 2015), a vermicompostagem (Luth et al., 2011), a biodigestão de dejetos animais e o aproveitamento energético do biogás (Grave et al., 2015; Saviotti et al., 2016), bem como a divulgação e incentivo à adoção de tecnologias voltadas à redução na geração do DLS, diminuição da sua carga poluente e de sua heterogeneidade.

Considerações finais

Conforme determinação legal, o gerador do resíduo é responsável pela sua destinação. Com isso, o interesse e a necessidade de seu aproveitamento acentuaram-se nos últimos anos e a disposição em áreas florestais tornou-se uma das formas mais importantes de destinação. Os resíduos das indústrias de celulose e papel, lodo biológico e dejetos de suínos são materiais que apresentam, em suas composições, matéria orgânica, nutrientes para as plantas e poder de neutralização da acidez do solo. Um dos problemas relacionados à composição química dos resíduos está relacionado com o desbalanço entre os teores de nutrientes, o que requer cuidados em sua aplicação. Tendo em vista as características dos plantios florestais, os resultados de pesquisas mostram que a aplicação desses resíduos em plantios de eucalipto, com as cautelas legais, ambientais, técnicas e financeiras, é uma forma adequada de disposição dos mesmos, com respostas positivas na produtividade de biomassa. Para a maioria dos resíduos aqui apresentados, os resultados de pesquisa com eucalipto disponibilizados em literatura relatam informações oriundas de povoamentos que não atingiram o ponto de colheita, o que limita a sua interpretação por não contemplar todo ciclo da cultura e suas sucessivas rotações. Deve ser destacada também a carência de resultados de pesquisa considerando a qualidade da biomassa produzida sob aplicação destes resíduos. Neste tocante, atenção deve ser dada a eventuais

alterações na qualidade da matéria-prima produzida (madeira), a fim de assegurar o atendimento das especificações voltadas à finalidade da produção (energia, celulose, serraria e outros usos).

Apesar dos efeitos positivos observados com a aplicação dos resíduos de origem agropecuária, urbana e industrial em plantios de eucalipto, o aperfeiçoamento dos dispositivos legais referentes ao tema poderá, no futuro, resultar em maior rigor quanto à disposição dos mesmos em áreas agrícolas e florestais. Além disso, a necessidade premente de se melhorar a eficiência dos sistemas florestais em fixar carbono, bem como a aderência deste tema a políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação às mudanças do clima, demandará maior atenção da comunidade científica para a superação de desafios logísticos e tecnológicos ainda encontrados em diversas etapas de geração, tratamento e disposição destes resíduos no solo. Por fim, as ações de pesquisa sobre o tema deverão priorizar estudos de longo prazo voltados a monitorar eventuais mudanças na produção florestal e em variáveis ambientais, a fim de orientar os formuladores de políticas públicas, empresas geradoras e produtores usuários dos resíduos, sobre as melhores práticas para sua utilização e manejo corretos.

Referências

- ABREU-JUNIOR, C. H.; FIRME, L. P.; MALDONADO, C. A. B.; MORAES NETO, S. P de; ALVES, M. C.; MURAOKA, T.; BOARETO, A. E.; GAVA, J. L.; HE, Z.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPARA, G. F. Fertilization using sewage sludge in unfertile tropical soils increased wood production in *Eucalyptus* plantations. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 51-58, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.074>.
- ABREU-JUNIOR, C. H.; LIMA BROSSI, M. J. de; MONTEIRO, R. T.; CARDOSO, P. H. S.; SILVA MANDU, T. da; NOGUEIRA, T. A. R.; HE, Z. Effects of sewage sludge application on unfertile tropical soils evaluated by multiple approaches: A field experiment in a commercial *Eucalyptus* plantation. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 1457-1467, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.334>.
- AHRENS, S.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. Plantações florestais comerciais, a certificação e os diálogos setoriais. In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 73-78. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1076160/1/PlantacoesflorestaisCapitulo7.pdf>.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1065-1073, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400024>.
- ANDRADE, C. A. de; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 58, p. 50-72, 2000.

- ANDRADE, C. A. D.; OLIVEIRA, C. D.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 803-816, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500016>.
- ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 47, p. 43-54, 2003.
- ANJOS, A. R. M. dos; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, p. 769-776, 2000.
- ARRUDA, O. G. de; ALVES, M. C.; BONINI, C. dos S. B.; MARCHINI, D. de C. Atributos físicos de um Latossolo degradado tratado com biossólido há cinco anos. **Científica**, v. 41, n. 1, p. 73-81, 2013.
- ASSMANN, T. S.; ASSMANN, A. L.; SARTOR, L. R.; ZORTÉA, T. Soil nitrate, phosphorus and potassium concentration after four years of liquid swine manure application on Tifton 85. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 36, p. 1907-1914, 2018.
- ASSMANN, T. S.; ASSMANN, J. M.; CASSOL, L. C.; DIEHL, R. C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1515-1523, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600028>.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I.; YADA, I. F.; BARBOSA, G. M.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, n. 490, p. 397-404, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019>.
- BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. de M.; SANSIGOLO, C. A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.
- BARRETO, V. C. de M. **Resíduos de indústria de papel e celulose na fertilidade do solo e no desenvolvimento do eucalipto**. 2008. 64 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- BARROS, N. F. de; PEREIRA, A. R.; BORBA, A. M. Liberação de nutrientes minerais mediante a queima de leiras. **Revista Árvore**, v. 6, n. 1, p. 84-89, 1982.
- BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. de. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* HILL ex-Maiden em função da idade: 1- macronutrientes. **IPEF**, n. 20, p. 1-23, 1980.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 37, p. 99-106, 1998.
- BENEDETTI, W. Utilização de resíduos industriais na Ripasa S/A Celulose e Papel como insumos na produção florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 141-154.

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 URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 97-120.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola do lodo de esgoto: avaliação após resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 31-50.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: _____. (ed.). Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 21-35.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. F.; ANDRADE, G. de C. Avaliação de lama de cal como corretivo 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. **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>. Acesso em: 14 maio 2019.

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>. Acesso em: 23 set. 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>. Acesso em: 14 maio 2019.

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>. Acesso em: 14 maio 2019.

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/112305.htm>. Acesso em: 14 maio 2019.

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/112651.htm>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Ações do plano.** Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/acoes-do-plano>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

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.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>>. Acesso em: 14 maio 2019.

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.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

CALDEIRA, M. V.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. de O.; SILVA, A. G. da. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CALDEIRA, M. V.; GONÇALVES, E. de O.; TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café in natura. **Revista Floresta**, v. 44, n. 2, p. 195-206, 2014.

CAMPOS, F. D. de; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. **Ciência Rural**, v. 41, n. 5, p. 796-803, 2011.

CAMPOS, F. da S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1389-1397, 2008.

CAVANAGH, A.; GASSER, M. O.; LABRECQUE, M. Pig slurry as fertilizer on willow plantation. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 10, p. 4165-4173, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.037>.

CETESB. 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.

CETESB. 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.

CETESB. 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.

CHIARADIA, J. J.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A. D.; CARMO, J. B. D.; OLIVEIRA, C. D.; LAVORENTI, A. CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in an Ultisol treated with sewage sludge and cultivated with castor bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1863-1870, 2009.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Gerenciamento de resíduos em complexos integrados de papel e celulose**. Rio de Janeiro, 1989. 40 p.

COLODRO, G.; ESPINDOLA, C. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 195-198, 2007.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 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://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: 14 maio 2019.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 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://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=514>>. Acesso em: 14 maio 2019.

COOK, R. L.; BILKLEY, D.; STAPE, J. L. *Eucalyptus* plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 92-98, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.035>.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, A. C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama de cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1307-1317, 2007.

CORREA, J. C.; BULL, L. T.; PAGANINI, W. da S.; GUERRINI, I. A. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 3, p. 411-419, 2008.

CORRÊA, J. C.; NICOLOSO, R. D. S.; MENEZES, J. F. S.; BENITES, V. D. M. **Critérios técnicos para recomendação de biofertilizante de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011a. 8 p. (Embrapa Suínos e Aves, Comunicado técnico, 486). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/910346/1/publicacao486.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

CORRÊA, J. C.; VARILLI, J.; REBELLATTO, A.; VEIGA, M. da. **Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011b. 18 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular técnica, 58). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/906227/1/circular tecnica58.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J. **Uso de resíduos de colheita e industriais em plantações de eucaliptos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 221). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/315903>>.

DE SÁ VANIN, L. G.; MAGALHÃES, J. L.; RODRIGUES, A. A.; MENEZES, J. F. S.; ANDRE, G. Swine biosolids in initial growth of *Eucalyptus*. **Revista Espacios**, v. 38, n. 41, 2017.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.; PERDOMO, C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Porto Alegre: Emater/RS, 2002. 31 p. (Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão, 14). Disponível em: <[http:// docs.agencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf](http://docs.agencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2019.

FABRES, A. S.; COUTO, C.; CONCEIÇÃO, D. A. Uso de resíduo industrial de celulose em florestas. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 121-154.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Animal production and health: sources of meat**. Rome, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/backgr_sources.html>. Acesso em: 1 mar. 2019.

FERNANDES, S. A. P.; BETTIOL, W.; CERRI, C. C.; CAMARGO, P. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil-atmosphere interface, on soil $\delta^{13}C$ and on total soil carbon and nitrogen. **Geoderma**, v. 125, n. 1-2, p. 49-57, 2005.

FERRAZ, A. V.; MOMENTEL, L. T.; POGGIANI, F. Soil fertility, growth and mineral nutrition in *Eucalyptus grandis* plantation fertilized with different kinds of sewage sludge. **New Forests**. v. 47, n. 6, p. 861-876, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-016-9549-1>.

FLORENTINO, A. L.; FERRAZ, A. de V.; GONÇALVES, J. L. de M.; ASENSIO, V.; MURAOKA, T.; DIAS, C. T. dos S.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPARA, G. F.; ABREU-JUNIOR, C. H. Long-term effects of residual sewage sludge application in tropical soils under *Eucalyptus* plantations. **Journal of Cleaner Production**, v. 220, p. 177-187, 2019.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 195-205, 2008.

GONÇALVES, J. L. D. M., VAZ, L. M. S., AMARAL, T. M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de bio-sólido em plantações florestais: II. Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 179-195.

- GRAVE, R. A.; DA SILVEIRA NICOLOSO, R.; CASSOL, P. C.; AITA, C.; CORRÊA, J. C.; DALLA COSTA, M.; FRITZ, D. D. Short-term carbon dioxide emission under contrasting soil disturbance levels and organic amendments. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 184-192, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.010>.
- GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A. de; POGGIANI, F.; MATTIZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 267-280, 2006.
- GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre Latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GUEDES, M. C. **Efeito do lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto**. 2000. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 188-201, 2003.
- GUIDI, W.; PITRE, F. E.; LABRECQUE, M. Short-rotation coppice of willows for the production of biomass in eastern Canada. In: MATOVIC, M. D. **Biomass now-sustainable growth and use**. Rijeka: InTech, 2013. p. 421-447.
- GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 189-215.
- HAN; S. H.; KIM; D. H.; ULTRA JR; V. U.; KIM; P.; AGGANGAN; N. S. Physiological response of Cd-and Pb-treated *Populus alba* x *glandulosa* seedlings amended with SCB liquid fertilizer. **Asia Life Sciences**, v. 21, n. 2, p. 481-498, 2012.
- HENRY, C. L.; COLE, D. W.; HARRISON, R. B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, v. 66, n. 1-3, p. 137-149, 1994.
- HOLM, B.; HEINSOO, K. Biogas digestate suitability for the fertilisation of young Salix plants. **Baltic Forestry**, v. 20, n. 2, p. 263-271, 2014.
- HUE, N. V. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J. **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers. 1995. p. 199-247.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017 = Report 2017**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Ibá em números**. São Paulo, [2019]. Disponível em: <<https://iba.org/dados-estatisticos>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Instrução Normativa 105.006**. Estabelecer as características dos empreendimentos, critérios - inclusive locacionais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas para o Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Suinocultura. 23 de junho de 2009. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105_006_SUINOS_VERSAO23JUN2009.pdf>. Acessado em 4 jul. 2020.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Instrução Normativa 105.006**. Estabelecer as características dos empreendimentos, critérios - inclusive locacionais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas para o Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Suinocultura. 15 de setembro de 2004. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105006_2004.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2019.

IMA. Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa nº 11**: Suinocultura, de 21 fev. 2009. 37 p. Disponível em: <<http://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/instrucoes-normativas>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Esgoto**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>>. Acesso em: 3 maio 2019.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014**: synthesis report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

ITAIPU BINACIONAL. **Relatório anual Itaipu Binacional 2017**. 141 p. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/u26/RELATORIO%20ITAIPU%202017_27abril.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2019.

KING, J. K. K.; GRANJOU, C.; FOURNIL, J.; CECILLON, L. Soil sciences and the French 4 per 1000 Initiative: the promises of underground carbon. **Energy Research & Social Science**, v. 45, p. 144-152, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.024>.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. D. de. Utilização de resíduos urbanos e agroflorestais para produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Mimosa scabrella*. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 530-537, 2013.

LAFLEUR, B.; THIFFAULT, E.; PARÉ, D.; CAMIRÉ, C.; BERNIER-CARDOU, M.; MASSE, S. Effects of hog manure application on the nutrition and growth of hybrid poplar (*Populus* spp.) and on soil solution chemistry in short-rotation woody crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 155, p. 95-104, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.002>.

LIRA, A. C. S. de; GUEDES, M. C.; SCHALCH, W. Reciclagem de lodo de esgoto em plantações: C e N. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 207-2016, 2008.

LOURENÇO, R. S.; ANJOS, A. R. M. dos; MEDRADO, M. J. S.; LIBARDI, P. L. Efeito da aplicação do lodo de esgoto nos teores solúveis e totais de elementos do solo sob sistema de produção de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 38, p. 39-65, 1999.

LOURENÇO, R. S. Curvas de neutralização de solo com lama de cal comparada com CaCO₃, p.a. e calcário. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 35, p. 49-57, 1997.

LTEIF, A.; WHALEN, J. K.; BRADLEY, R. L.; CAMIRÉ, C. Mixtures of papermill biosolids and pig slurry improve soil quality and growth of hybrid poplar. **Soil Use and Management**, v. 23, n. 4, p. 393-403, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00103.x> .

LUTH, R. P.; GERMAIN, P.; LECOMTE, M.; LANDRAIN, B.; LI, Y.; CLUZEAU, D. Earthworm effects on gaseous emissions during vermifiltration of pig fresh slurry. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 3679-3686, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.027>.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; ANDRADE, G. de C. **Caracterização físico-química de solos da região dos Campos Gerais, Paraná, submetidos à aplicação de lama de cal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 30 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 217). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898076>>.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; GOMES, J. B. V.; AUER, C. G.; MAROS, D. **Avaliação do efeito do lodo celulósico gerado em ETE oriundo de reciclagem de papel combinado com aplicação de calcário no crescimento de plantas de *Eucalyptus dunnii* e em características químicas do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. Relatório de pesquisa. Não publicado.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; GOMES, J. B. V.; HENNING, G. V. **Aplicação de cinza de madeira e lama de cal no desenvolvimento do eucalipto e em características químicas do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. Relatório de pesquisa. Não publicado.

MAEDA, S.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A. **Crescimento de *Eucalyptus benthamii* submetido à aplicação de lama de cal e cinza de madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 9 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 373). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1043484>>.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 169-177, 2013.

MAEDA, S.; SILVA, H. D. da; DEDECEK, R. A.; COSTA, E. R. de O. **Resultados de pesquisa com lodo gerado na estação de tratamentos de efluentes de aparas de papel como insumo florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 2013). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/976691>>.

MAIO, M. M.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; PATES, F. B. de S.; RODRIGUES, M. N.; SILVA, H. P. da; DIAS, A. N.; FREITAS, C. E. S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6. p. 823-830, 2011.

MARIA, I. C. de; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007.

MARRON, N. Agronomic and environmental effects of land application of residues in short-rotation tree plantations: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 378-400, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.07.025>.

MEDEIROS, T. L.; REZENDE, A. V.; VIEIRA, P. F.; CUNHA NETO, F. R.; VALERIANO, A. R.; CASALI, A. O.; GASTALDELLO JUNIOR, A. L. Produção e qualidade da forragem de capim marandu fertirrigada com dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 309-318, 2007.

- MEEINKUIRT, W.; KRUATRACHUE, M.; PICHTEL, J.; PHUSANTISAMPAN, T.; SAENGWILAI, P. Influence of organic amendments on phytostabilization of Cd-contaminated soil by *Eucalyptus camaldulensis*. **Science Asia**, v. 42, n. 2, p. 83-91, 2016. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2016.42.08.
- MELO, V. P. de; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M. de; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. de. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com bioossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1. p. 67-62, 2004.
- MENEZES, J. F. S.; ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; KONZEN, E. A. PIMENTA, F. **Utilização de resíduos orgânicos na agricultura**. Ribeirão Preto: AGRISHOW, 2002. Palestra. Disponível em: <http://www.planetaorganico.com.br/trabJune.htm>. Acesso em: 14 jan. 2009.
- MIRANDA, C. R. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: SEGANFREDO, M. A. (ed.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 14-36.
- MIRANDA, C. R. de; ZARDO, A. O.; GOSMANN, H. A. **Uso de dejetos de suínos na agricultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999. 2 p. (Embrapa Suínos e Aves, Instrução técnica para o produtor, 11). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/436817>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. **Dejeto líquido de suíno como fertilizante orgânico**: método simplificado. Londrina: Iapar, 2015. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/banner%20pequeno/dejeto_suinoa.pdf. Acesso em: 13 nov. 2018.
- MORO, L. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 155-166.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná, 2017.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de bioossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 163-178.
- RIBEIRO, E. P.; MAGALHÃES, J. L.; RODRIGUES, A. A.; RODRIGUES, D. A.; FRAZÃO, M. A.; RODRIGUES, C. L. Análise inicial do super clone de eucalipto adubado com lodo de efluente suíno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 399-407, 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.84.913.
- ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. de M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com bioossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 623-639, 2004.
- SANTANA, D. L. de Q.; BELLOTE, A. F. J.; RODRIGUES, C. M. Efeito da aplicação de resíduos nas propriedades biológicas do solo em sítios florestais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **A busca das raízes**: Anais [...]. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Critérios para escolha de eucaliptos para plantio. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 1-138. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933>>.

SANTOS FILHO, A.; TOURINHO, L. C. do N. Caracterização analítica de lodos e interpretações para fins agrícolas e florestais: 1 propriedades físicas e químicas. **Revista Floresta**, v. 12 n. 1, p. 44-48, 1981a.

SANTOS FILHO, A.; TOURINHO, L. C. do N. Caracterização analítica de lodos e interpretações para fins agrícolas e florestais: 2. composição química total. **Revista Floresta**, v. 12 n. 2, p. 28-35, 1981b.

SARDÁ, L. G.; HIGARASHI, M. M.; MULLER, S.; DE OLIVEIRA, P. A. V.; COMIN, J. J. Redução de emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27940/1/LUANA-SARDA.pdf>>. Acesso em: 4 mar. 2019.

SAVIOTTI, B.; DIAS, C. P.; COSER, F.; LEITÃO, F.; OLIVEIRA, P. A. V. de. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos**. Brasília, DF, 2016. 44 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/suinocultura-abc/publicacoes-de-suinocultura/levantamento-de-tecnologias-de-tratamento-de-dejetos-para-suinocultura-de-pequeno-porte.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; DIAS, L. X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense. **Agropecuária Catarinense**, v. 8, p. 35-39, 1995.

SCHERER, E. E.; SPAGNOLLO, E.; BALDISSERA, I. T. Atributos químicos do solo e resposta de plantas forrageiras à aplicação de esterco líquido de suínos por longo período em sistema de plantio direto. **Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. 2, p. 78-83, 2015.

SEGANFREDO, M. A. Uso de dejetos suínos como fertilizante e seus riscos ambientais. In: _____. (ed.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 150-175.

SILVA, F. A. de M.; NUNES, G. M.; ZANOS, J. A.; GUERRINI, I. A.; SILVA, R. B. da. Resíduo agroindustrial e lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 827-828, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832101>.

SILVA, F. R. da. **Cinza de biomassa florestal: efeito nos atributos de solos ácidos e na cultura do eucalipto**. 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SILVA, P. H. M. da; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 79-88, 2008a.

SILVA, P. H. M. da; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 845-854, 2008b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500009>.

- SILVA, P. H. M. da; POGGIANI, F.; LACLAU, J. P. Applying sewage sludge to *Eucalyptus grandis* plantations: effects on biomass production and nutrient cycling through litterfall. **Applied and Environmental Soil Science**, V. 2011, Id 710614, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/710614>.
- SIMONETE, M. A.; CHAVES, D. M.; TEIXEIRA, C. F. A.; MORO, L.; NEVES, C. U. Fornecimento de cálcio para as plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1343-1351, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500023>.
- SMITH, P.; LUTFALLA, S.; RILEY, W. J.; TORN, M. S.; SCHMIDT, M. W. I.; SOUSSANA, J. F. The changing faces of soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 23-30, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12500>
- SOARES, M. T. S.; FROUFE, L. C. M. Estimativa de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais por meio da produção e decomposição de serapilheira. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 155-170.
- SOARES, M. T. S.; MAEDA, S.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. D. C.; BOGNOLA, I. A.; FASSINA, S. H. Desenvolvimento inicial de eucalipto submetido à fertilização química e aplicação de dejetos líquidos de suínos. In: Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais [...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SOARES, M. T. S.; MAEDA, S.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. C.; GOMES, J. B. V.; FASSINA, S. H. Resposta inicial do eucalipto após aplicação de dejetos líquidos de suínos no oeste do Paraná. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 6., 2019, Florianópolis. **Anais [...]**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 4 p.
- SOARES, M. T. S.; MELFI, A. J.; GONÇALVES, J. L. M.; CAVAGLIERI, V. S.; TEIXEIRA, C. M.; FEIGHL, B. Variação dos teores de fósforo e potássio em um solo sob cultivo mínimo e outro degradado após aplicação de biossólido e plantio de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Solo: alicerce dos sistemas de produção: Anais [...]**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Estadual Paulista, 2003.
- SOARES, M. T. S. **Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio, e alterações da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não-degradado fertilizados com biossólido e florestados com *E. grandis***. 2003 161 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- SOUZA, Z. M. de; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; NELO, W. J. de. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 117-123, 2005.
- STAPE, J. L.; BALLONI, E. A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumo na produção florestal. **IPEF**, n. 40, p. 33-37, 1988.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. M. The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012>.

- STAPE, J. L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *E. grandis*, em areias quartzosas, através da fertilização de manutenção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Florestas e meio ambiente: conservação e produção, patrimônio social**. São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p. 386-390.
- TEDESCO, M. J.; ZANOTTO, D. L. Utilização de resíduo alcalino da indústria de celulose na correção da acidez do solo. **Agronomia Sulriograndense**, v. 14, n. 2, p. 329-336, 1978.
- TEIXEIRA, C. M.; FEIGHL, B.; SOARES, M. T. S.; CAMPOS, L. A.; GONÇALVES, J. L. M. Microbial biomass gradient in a soil treated with biosolid under *Eucalyptus grandis*. In: NATIONAL AND INTERNATIONAL SOIL SCIENCE CONGRESS, 9., 2., 2004, Cuzco. [**Proceedings**]. [S.l. : s.n.], 2004. p. 58-61.
- TOLEDO, F. H. S. F. de; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A. S.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. G. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 711–716, 2015.
- TRIGUEIRO, R. de M. **Efeito de “dregs e grits” nos atributos de um Neossolo Quartzarenico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.
- TRIGUEIRO, R. de M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 150-162, 2003.
- USDA. United States Department of Agriculture. **Livestock and poultry: world markets and trade**. 2018. 28 p. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 4 mar. 2019.
- VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamentos de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 747-758, 2002.
- VEDOVATO, M.; SOARES, M. T. S.; MAEDA, S. Estimativa de nitrogênio, fósforo e potássio em dejetos líquido de suínos via densidade e matéria seca. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 6., 2019, Florianópolis. **Anais [...]**. Concórdia: Sbera : Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 550-552.
- VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000300013>.
- WALDEMAR, C. J.; HERRERA, J. Avaliação do potencial de utilização de dregs e do grits como corretivo da acidez e fertilizante na agricultura. In: CONGRESSO ANUAL DO ABCP, 19., 1986. São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABCP, 1986. p. 447-453.
- WREGG, M. S.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; HOLLER, W. A. Zoneamento agroclimático do eucalipto para a região da Bacia do Paraná e em escala semidetalhada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais [...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- ZABOWSKI, D.; HENRY, C. L. Soil and foliar nitrogen after fertilizer treatment of ponderosa pine. **New Zealand Journal of Forest Science**, v. 24, p. 333-343, 1994.

