

Revisão Bibliográfica

Utilização do lodo de esgoto para a produção comercial e mudas de eucalipto

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão bibliográfica atualizada, a viabilidade da utilização do lodo de esgoto como fonte alternativa de adubo para o cultivo comercial do eucalipto e como substrato na produção de mudas

dessa espécie. Foram utilizadas como bases de pesquisa: *SciELO*, Portal de Periódicos da CAPES, portais de teses de diversas universidades, Scopus, Bireme e *ScienceDirect*, além de livros e publicações técnicas como manuais, notas e normas. A utilização do lodo de esgoto no solo tem apresentado índices produtivos de madeira satisfatórios, além de ser uma alternativa viável à adubação mineral. A maioria dos estudos analisados apresentam aplicações de cerca de 10 t ha⁻¹ como a mais adequada, sendo que os índices produtivos apresentaram valores que se assemelharam ou até mesmo sobressaíram aqueles comparados com adubação mineral. A mistura parcial ou total com lodo de esgoto em substrato comercial para a produção de mudas de eucalipto também vem mostrando resultados promissores, no entanto, devido à escassez de informação, ainda é necessário maiores estudos para definir qual a melhor proporção a ser utilizada.

Palavras-chave: biossólidos, *Eucalyptus* spp, substrato.

Alexandre Lioi Nascentes¹
Bruno Patias Lena²
João Paulo Francisco³
Fabiana da Costa Barros⁴
Leonardo Duarte Batista Silva⁵

Use of seage sludge for eucalypt (*Eucalyptus* spp) commercial and seedling production

Abstract

This study had the objective of identify the seage sludge use feasibility as a fertilizer alternative for eucalypt commercial cultivation and as substrate for seedling production by an updated literature review. The research was performed on the following database: SciELO, CAPES journal portal, universities thesis and dissertations, Scopus, Bireme and ScienceDirect, as well as books, articles, short communication and regulations. The use of seage sludge directly in the soil have been showing good results for wood production and it is considered a feasible alternative to mineral fertilizers. For most of the studies analyzed showed an application of 10 ton ha⁻¹ of seage sludge as the most adequate due to the similar results or higher wood production compared to the mineral fertilization. The partial or total use of seage sludge within the substrate for eucalypt seedling production have also shown promising results, however, due to the lack of reliable information, it is still necessary further studies to identify the better seage sludge/commercial substrate ratio.

Keywords: biosolids, *Eucalyptus* spp, substrate.

Uso de lodos de alcantarillado para la producción comercial y plántulas de eucalipto

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar, a través de una revisión bibliográfica actualizada, la viabilidad del uso de lodos de depuradora como fuente alternativa de fertilizante para el cultivo comercial de eucalipto y como sustrato en la producción de plántulas de esta especie. SciELO, Portal de la revista CAPES, portales de tesis de varias universidades, Scopus, Bireme y ScienceDirect, así como libros y publicaciones técnicas como manuales, notas y estándares fueron utilizados como bases de investigación. El uso de lodos de depuración en el suelo ha presentado tasas satisfactorias de producción de madera, además de ser una

Received at: 17/04/2019

Accepted for publication at: 03/08/2019

1,2,3 - Eng. Agrônomo. Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Produção Vegetal. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Email: marcondes.sa33@gmail.com; alexandremrfj@gmail.com; laamoneng.agro@gmail.com

4 - Zootecnista. Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Produção Vegetal. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Email: lypsonsi.zootec@gmail.com

5 - Eng. Agrônomo. Dr professor. Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Email: nopalea21@yahoo.com.br

alternativa viável a la fertilización mineral. La mayoría de los estudios analizados presentan aplicaciones de aproximadamente 10 t ha⁻¹ como las más apropiadas, y los índices productivos presentaron valores que se parecían o incluso sobrepasaban en comparación con la fertilización mineral. La mezcla parcial o total con lodo de aguas residuales en sustrato comercial para la producción de plántulas de eucalipto también ha mostrado resultados prometedores, sin embargo, debido a la escasez de información, se necesitan más estudios para definir la mejor proporción que se utilizará.

Palabras clave: biosólidos, *Eucalypto* spp, sustrato.

Introdução

O Brasil é o país com maior quantidade de água potável do planeta com cerca de 12% do total disponível mundialmente. No entanto, o país ainda possui um dos piores índices de tratamento de esgoto doméstico, dispondo de apenas 20 municípios que tratam 100% o esgoto produzido, em um total de 5.500 municípios. O Ministério do Meio Ambiente estima que menos de 10% do esgoto urbano produzido são tratados antes de serem lançados nos rios.

Um dos principais problemas ambientais enfrentados atualmente pela humanidade é a disposição e destinação final de resíduos sólidos e líquidos. O adequado tratamento dos resíduos urbano, industrial e rural se torna essencial para a preservação da qualidade do solo e da água. Ainda, em determinados tipos de tratamentos, ainda há a geração de subprodutos (resíduo dos tratamentos) que também podem conter contaminantes, sendo necessário o seu adequado destino para não comprometer a eficiência do processo.

Um exemplo de subproduto de tratamento de resíduo de origem urbana é o lodo de esgoto. Esse é obtido por meio das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e sua composição irá se diferenciar de acordo com sua origem, bem como pelos processos de tratamento realizados na ETE, principalmente no que diz respeito à fração orgânica. Dependendo da concentração de elementos tóxicos ou patogênicos dispostos no lodo de esgoto, estes poderão apresentar riscos de contaminação ao seu destino final.

A potencialidade de utilização do lodo de esgoto como composto agrícola é definida por diversos aspectos: por ser rico em matéria orgânica, promover o aumento parcial da fertilidade do solo e promover a maior retenção de água no solo. Além disso, sua utilização é considerada uma alternativa viável, pois seu uso diminui ou mesmo elimina a necessidade da aplicação de corretivos e fertilizantes minerais, tornando a atividade agrícola mais

sustentável, conservativa e econômica. No entanto, essa técnica é ainda pouco difundida devido ao tratamento de esgoto no país ainda ser insipiente.

Vale ressaltar que no Brasil, o uso de lodo de esgoto no meio agrícola somente é permitido quando sua composição está em concordância aos critérios estabelecidos em legislações vigentes (CONAMA, 2006). Para sua correta utilização no solo, o lodo de esgoto deverá ser submetido a processos de tratamentos para remoção parcial ou total de elementos orgânicos considerados tóxicos, de agentes patogênicos e de metais pesados, sendo seu tratamento realizado por processos químicos, físicos e/ou biológicos.

A intensa demanda pelos produtos obtidos de matéria prima de eucalipto (*Eucalyptus* spp) vem refletindo no crescente aumento em área cultivada com essa espécie no Brasil. Normalmente a cultura de eucalipto é desenvolvida em solos de baixa fertilidade natural e por ocasião da exploração florestal, grande quantidade de nutrientes é exportada dos solos. Dessa forma, a reposição de nutrientes ao solo se torna essencial para o adequado desenvolvimento das espécies em cultivos subsequentes. É nesse sentido que o uso de lodo de esgoto em cultivo de eucalipto se torna uma alternativa viável e sustentável, uma vez esse tem a característica de, além incorporar matéria orgânica, liberar de nutrientes de forma lenta e contínua, favorecendo o desenvolvimento dessa espécie.

O processo de produção de mudas é considerado uma das etapas mais importantes quando se trabalha com espécies florestais, pois uma muda de boa qualidade tem maiores chances de sobreviver no campo e apresenta alta taxa de crescimento inicial. Portanto, a escolha de um substrato é crucial para a produção de uma muda de qualidade. No entanto, devido ao elevado custo com a utilização de substrato comercial, o que reduz a margem de lucro do produtor, tem-se observado um aumento em estudos onde é investigado a influência do uso parcial ou total de lodo de esgoto na composição de substratos na produção de mudas de eucalipto.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre o potencial de utilização do lodo de esgoto na produção comercial de eucalipto e como constituinte de substratos na produção de mudas de eucalipto.

Desenvolvimento

A revisão bibliográfica teve início em 1999, em que foi registrado os primeiros trabalhos com a utilização de lodo de esgoto no cultivo de eucalipto. Foram selecionados artigos científicos tanto na literatura nacional e internacional, o que permitiu avaliar os efeitos da utilização desse biossólido desde a produção de mudas de eucalipto até cultivos comerciais de xxx anos. Utilizou-se como fonte de consulta, os dados obtidos pela *SciELO*, portal de periódicos da CAPES, portais de teses de diversas universidades, Scopus, Bireme, e *Science Direct*, além de livros e publicações técnicas como manuais, notas e normas.

Ao todo, foram registrados 43 trabalhos, sendo 13 combinados entre de teses de doutorado, dissertação de mestrado e monografia de conclusão de curso, 25 artigos científicos e 5 documentos e resoluções. Cada registro foi analisado com base na sua ideia principal, destacando seus objetivos e resultados obtidos. Ainda, foi realizada uma análise compreensiva entre os trabalhos, permitindo verificar quais foram as principais contribuições de cada estudo, além de identificar informações que ainda se encontram escassas e quais as tendências futuras. Esta revisão foi dividida em três partes: a primeira em que o lodo de esgoto foi analisado conforme sua potencialidade como insumo agrícola, a segunda em que foi verificado a potencialidade da utilização de lodo de esgoto no solo em cultivos comerciais de lodo de esgoto e, por fim, o efeito da substituição parcial ou total em substrato para a produção de mudas de eucalipto.

O lodo de esgoto como insumo agrícola

A sustentabilidade de uma atividade agrícola está diretamente relacionada, entre outros fatores, ao balanço nutricional do ecossistema. Para o crescimento adequado de espécies florestais, a quantidade de nutrientes requeridos pelas plantas que entra no ecossistema, tanto a médio quanto a longo prazo, deve ser equivalente à quantidade que sai (POGGIANI et al., 2000).

Guedes (2005) cita que a viabilidade ecológica é a capacidade do ecossistema de reciclar a energia e os nutrientes em sistemas agrícolas, diminuindo a necessidade de entradas externas, tornando-se mais

conservativo e autossustentável. Decorrente disso, o mesmo autor relata que a utilização do lodo de esgoto favorece a maior capacidade do ecossistema em manter a sustentabilidade produtiva do sítio do que a adubação mineral, pois ele contribui com a devolução parcial ou total de nutrientes ao solo.

O efeito da aplicação do lodo de esgoto na biomassa produzida em espécies florestais de rápido crescimento foi estudado por muitos pesquisadores, sendo observado um benefício da sua utilização no incremento da madeira, principalmente para o eucalipto (VAZ e GONÇALVES, 2002; ROCHA et al., 2004; FIRME, 2009). Apesar desses benefícios, Toledo et al. (2012) mencionam a escassez de resultados para outras espécies florestais nativas, sendo a maioria dos estudos realizados para o eucalipto e o pinus. Ainda, a aplicação do lodo pode aumentar significativamente os retornos econômicos de cultivos florestais devido à maior produtividade obtida, compensando os custos de transporte e aplicação do resíduo (KIMBERLEY et al., 2004; citado por SILVA et al., 2008).

Assim como mencionado anteriormente, um dos principais motivos ligados ao incremento dos índices de produtividades em espécies florestais com a utilização do lodo de esgoto é o fornecimento parcial ou total de nutrientes às plantas (GUEDES, 2005; SANTOS et al., 2014). Isto está em conformidade com que foi citado por Melo et al. (2001), em que a incorporação do lodo de esgoto ao solo modifica as características físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente no que diz respeito à elevação dos teores de potássio e nitrogênio. Para o cultivo de eucalipto, Vaz e Golçalvez (2002), Rocha et al. (2004), Guedes (2005), Silva (2006) e Firme (2009) também observaram que o lodo de esgoto age como elemento favorecedor da ciclagem de nutrientes devido à maior deposição de serrapilheira sobre a superfície do solo.

Além dos benefícios supracitados no parágrafo anterior, Silva e Poggiani (2005) mencionam que existem outros fatores que tornam o uso de biossólido ainda mais atrativo, dando destaque para: a não destinação ao setor alimentício da madeira; as aplicações são realizadas com grandes intervalos de tempo (5 a 7 anos) o que gera baixo impacto sobre o ecossistema; existem extensas áreas de florestas plantadas disponíveis e geralmente sob solos de baixa fertilidade; facilidade de aplicação nos talhões em qualquer época de desenvolvimento do plantio; imobilização dos nutrientes na biomassa lenhosa (fitorremediação) e; maior sequestro de CO₂.

É importante destacar que a utilização de lodo

de esgoto em solos agrícolas somente pode ser realizada quando a sua composição estiver em conformidade com a Resolução CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006 (CONAMA, 2006). Entre muitos parâmetros e critérios para sua utilização, os mais importantes são a concentração máxima de determinadas substâncias inorgânicas, a exemplo dos metais pesados, e de agentes patogênicos, tal como os coliformes termotolerantes. Quando a composição do lodo de esgoto está fora dos critérios e padrões estabelecidos, esse deve ser devidamente tratado até que o mesmo atenda as exigências estabelecidas por essa Resolução.

O uso de lodo de esgoto na produção de eucalipto

No Brasil, estudos sobre o efeito da utilização de lodo de esgoto na produção de madeira de eucalipto teve início, predominantemente, na década passada. Segundo Guedes (2005), entre 1999 e 2006, o grupo de pesquisadores da ESALQ/USP se destacavam no cenário nacional, sendo observado uma grande quantidade de dissertações, teses e periódicos publicados (Andrade e Mattiazzo, 2000; Faria, 2000; Faria e Rodriguez, 2000; Fortes Neto, 2000; Guedes, 2000; Poggiani et al., 2000; Vaz, 2000; Martins, 2002; Rocha, 2002; Vaz e Gonçalves, 2002; Guedes e Poggiani, 2003; Molina, 2004; Andrade, 2005; Molina et al., 2006). Esses autores tinham um consentimento em comum; a aplicação do lodo de esgoto no solo promovia o aumento dos índices produtivos em eucalipto. Além disso, esses dados vão de encontro com as estimativas de Poggiani e Bennedeti (1999), que acreditavam na sua elevada viabilidade ecológica, produtiva e econômica.

A sua aplicação na agricultura também é considerada uma alternativa à destinação final desse biossólido, principalmente em locais onde as ETE's estão próximas às áreas de reflorestamento (Faria e Rodrigues, 2000). Os autores também mencionam que existe uma elevada demanda para o uso de biossólido como fertilizante em plantios de *Eucalyptus* e de *Pinus* no Estado de São Paulo, principalmente devido à extensa área de reflorestamento no estado, que em 1999 era de 321.000 ha.

A partir de 2007, foi observado um decréscimo na quantidade de pesquisas com a utilização de lodo de esgoto na produção de eucalipto, sendo ainda a maioria desenvolvida por pesquisadores da ESALQ/USP (JUNIOR et al., 2009; SILVA et al., 2011; PIRES, 2015) e pouco no cenário nacional (PAEZ, 2011). Isso é explicado pela grande quantidade de estudos desenvolvidos anteriormente à 2007 e à semelhança

entre os resultados, o que permitiu estabelecer novos protocolos para o cultivo de eucalipto sob adubação de lodo de esgoto. De fato, a partir de 2010, o que se tem observado é uma busca maior com a utilização de lodo de esgoto na mistura parcial ou total em substratos para a produção de mudas de eucalipto. Mais detalhes sobre esse tema será abordado no próximo tópico.

Vaz e Gonçalves (2002), em trabalho realizado para avaliar o efeito de doses crescentes de biossólido sobre atributos químicos do solo, bem como no crescimento e absorção de macro e micronutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, observaram um aumento da exigência de doses de lodo de esgoto conforme as plantas se desenvolviam. Esses autores atribuíram os resultados à maior disponibilidade de nutrientes às plantas conforme era aumentado as doses desse biossólido. Os nutrientes N, P, Ca, Mg, S, Mn e Zn foram os mais influenciados pela aplicação de biossólido, corroborando com as afirmativas de Melo et al. (2001). Ainda, os autores observaram que a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biossólido, sem suplementação de K, elevou o teor desse nutriente de 0,8 (testemunha) para 1,1 mmolc dm⁻³ de solo, atingindo a faixa de teor considerada adequada para o crescimento de eucalipto. Esses resultados evidenciam que não há a necessidade de suplementação de K por meio de adubação mineral em plantações de eucalipto quando é utilizado doses de biossólido maiores que 10 t ha⁻¹. O efeito da aplicação do biossólido sobre o volume de madeira sólida foi de 10 e 30% maior do que com a adubação mineral. O crescimento em volume elevou-se de 1,9 para 7,2 m³ ha⁻¹ aos 17 meses de idade de eucalipto, 13 meses pós aplicação do biossólido.

Da mesma forma, Rocha et al. (2004), ao avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de biossólido na fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, na nutrição mineral e no crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis*, demonstraram um ganho na produtividade da madeira. Após 32 meses da aplicação, a fertilidade do solo aumentou gradualmente, bem como os teores de matéria orgânica nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, e de P-resina e de Ca trocável nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. A aplicação do biossólido também promoveu maiores índices de produção de madeira em comparação ao tratamento com adubação mineral, principalmente aos 36 meses de idade. Pela equação de regressão ajustada, aos 36 meses de idade seriam necessários cerca de 12 t ha⁻¹ de lodo de esgoto para igualar os valores de produtividade do tratamento sob adubação mineral

(35,9 t ha⁻¹ de madeira) e de 37 t ha⁻¹ para atingir a produtividade máxima (45,5 t ha⁻¹ de madeira).

Silva (2006), ao comparar a influência do lodo de esgoto seco e úmido sobre o crescimento das árvores de *Eucalyptus grandis*, verificou que, aos 36 meses de idade, os tratamentos com aplicação do lodo úmido e seco apresentaram crescimento em altura significativamente maiores do que o observado no tratamento sem suplementação e similar ao tratamento com adubação mineral. O autor também constatou que a dose de biossólido mais adequada para a produção de madeira é de 10 t ha⁻¹.

Ao avaliar o efeito de doses crescentes de lodo de esgoto (10, 20 e 30 t ha⁻¹) úmido e seco aplicado na linha de plantio de *Eucalyptus grandis*, Silva et al. (2008) observaram resultados de volume dos troncos similares entre os tratamentos com lodo de esgoto e adubação mineral aos 18 meses de idade. Além disso, esses resultados foram maiores àqueles comparados sem adubação, mostrando que esse material pode ser utilizado para a suplementação mineral. Esses autores ainda descrevem que os nutrientes presentes no biossólido estavam dentro dos limites que geralmente eram utilizados em plantações comerciais, indo de encontro com as afirmativas de Vaz e Gonçalves (2002) em que o lodo de esgoto pode promover o fornecimento parcial ou total de determinados nutrientes ao solo.

Utilizando a quantidade de 15,4 t ha⁻¹ sugerida na Resolução nº 375 CONAMA (CONAMA, 2006) para a aplicação de 100% de lodo de esgoto na linha de plantio de eucalipto, Firme (2009) observou aumento da matéria seca do lenho, casca, folha e galho. Ao combinar o lodo de esgoto com NPK, também foi observado um aumento na produtividade do volume de madeira com casca. Entretanto, a dose de 50% de lodo, recomendada pelo critério de N, possibilitou reduzir a quantidade de fertilizante nitrogenado em 100% e fertilizante fosfatado em 66%. Esses resultados mostram a importância de se analisar a composição química do lodo de esgoto antes de fazer a aplicação em cultivo de eucalipto, visto que sua composição irá apresentar grande variabilidade em função da origem de produção desse material.

O incremento da produção de biomassa do eucalipto com a aplicação de lodo de esgoto também foi observado por Silva et al. (2011). Esses autores verificaram que o lodo de esgoto seco e úmido tiveram valores de biomassa total que se assemelharam aos do tratamento com adubação mineral. Aos 36 meses de idade, foi observado uma diferença significativa entre

a biomassa total do tratamento sem suplementação mineral quando comparado aos com uso de lodo de esgoto, sendo que para o lodo de esgoto seco foi mais do que o dobro maior (106,5 t ha⁻¹) do que o tratamento sem adubação (51,7 t ha⁻¹).

Além do aumento da produtividade, Barreiros et al. (2007) verificaram que a aplicação de lodo de esgoto promoveu alterações nos atributos físicos e químicos da madeira de *Eucalyptus grandis*. Com aplicação de doses de 0 a 40 t ha⁻¹, o lodo de esgoto diminuiu a densidade básica da madeira, mas não afetou os teores de celulose, lignina, extrativos e o poder calorífico da madeira. Apesar do decréscimo de densidade da madeira pela adubação com lodo de esgoto, esse atributo foi compensado pela maior quantidade de madeira produzida.

Pires (2015), ao avaliar a interação entre a produção de madeira de eucalipto e viabilidade econômica da utilização de lodo de esgoto após 8 anos de cultivo, observou que, apesar da maior produtividade ser observada com aplicação de 23,1 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, a aplicação de 15,4 t ha⁻¹ foi a que apresentou o melhor retorno econômico para o agricultor. Ainda os autores mencionam que a dose de 15,4 t ha⁻¹ é mais viável independentemente se o agricultor custeia ou não o transporte do biossólido. Além dessa dose estar muito próxima àquelas observadas para produtividade máxima do eucalipto em outros estudos (Vaz e Gonçalves, 2002; Rocha et al., 2004; Silva, 2006; Firme, 2009), a viabilidade econômica é uma informação extremamente importante para auxiliar a tomada de decisão na produção de eucalipto, reduzindo os riscos com seu investimento.

Uma das principais justificativas para a utilização do lodo de esgoto em plantio é devido à elevada concentração de nutrientes em sua composição, sendo observado inúmeros estudos que avaliaram a capacidade de reposição de nutrientes ao solo pela sua utilização. Vaz e Gonçalves (2002) observaram aumento gradativo dos teores de K, Ca e S após seis meses de aplicação e de P, Ca, K e S aos 13 meses. Esse fato explica os valores similares de produção entre os tratamentos com aplicação de lodo de esgoto e adubação mineral, comprovando que o biossólido contribui com a disponibilidade de nutrientes às plantas de eucalipto. Além disso, esses resultados também estão vinculados com a alta absorção desses nutrientes pelo eucalipto, como comprovado por Guedes e Poggiani (2003), em que os tratamentos conduzidos com aplicação de biossólido alterou, significativamente, os teores dos nutrientes nas folhas

de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. De maneira geral, a aplicação de biossólido aumentou os teores de N, P, Ca e S nas folhas, exceto para o Fe, comprovando que o lodo de esgoto promove ambos o fornecimento do nutriente no solo e a liberação às plantas.

O aumento da concentração de nutrientes na folha de eucalipto submetido a aplicação de lodo de esgoto foi observado por Silva (2006). Além disso, o autor também relata o aumento na produção de folhedos, incrementando a transferência de nutrientes das copas dos eucaliptos para os compartimentos da serrapilheira e do solo, resultados esses também descrito por Guedes (2005). Esse último autor também menciona a maior capacidade do ecossistema em manter a sustentabilidade produtiva do que a adubação mineral devido à devolução do nutriente ao solo a longo prazo pela serapilheira do eucalipto.

Outra característica do lodo de esgoto é a sua lenta decomposição e conseqüente mineralização dos nutrientes. Por um lado, isso pode ser favorável sob a perspectiva da reciclagem dos nutrientes, pois permite uma sincronia entre liberação e absorção dos elementos pelas árvores, diminuindo as saídas do ecossistema devido à lixiviação. Sob o ponto de vista do agricultor, isso pode trazer problemas quando se necessita de uma rápida liberação de nutrientes, como é o caso do P para alimentar o arranque das mudas de eucalipto. Por outro lado, se torna interessante pela perspectiva de liberação de nutrientes durante todo o ciclo da cultura do eucalipto, inclusive durante uma segunda rotação (ANDRADE, 2004). Essas afirmativas foram comprovadas por Silva e Poggiani (2005), em que foi verificado um maior estoque de nutrientes em todos os compartimentos do ecossistema.

A avaliação do estoque de C e N no solo pela aplicação de lodo de esgoto realizado por Andrade et al. (2005) comprova que, após a aplicação do resíduo ou de fertilizantes minerais, o teor total de C e N no solo não diferiu entre os tratamentos nas camadas até 60 cm de profundidade. Pelos resultados, os autores concluem que a quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, após cinco anos de aplicação do biossólido ou fertilizantes naturais, não foi alterada.

Um dos problemas da utilização de lodo de esgoto em solos agrícolas é a presença de metais pesados em sua composição, o que pode causar contaminação a todo o ecossistema. Apesar da resolução nº 375 da CONAMA (2006), que define os limites máximos de concentrações de substâncias inorgânicos e agentes patogênicos, estudos foram realizados para analisar a potencialidade do acúmulo desses materiais no solo. Molina (2004), em

estudo para avaliar a alteração na fertilizado de um Latossolo Vermelho-Amarelo com o uso de lodo de esgoto em plantio de *Eucalyptus grandis*, observou que o biossólido não proporcionaram aumentos dos teores dos metais Cr e Cd no solo e que quantidades de biossólidos superiores à 20 t.ha⁻¹ não supõe riscos ambientais. Contudo, os teores de Cu, Ni e Zn aumentaram com o tempo com a aplicação de 40 t.ha⁻¹ biossólido, porém não apresentou riscos para a cultura de eucalipto.

A comprovação de que o uso de lodo de esgoto não promove riscos de contaminação por metais pesados às plantas e do solo em cultivo de eucalipto também foi observado por Andrade e Mattiazzo (2000) e Firme (2009) e Ferraz e Poggiani (2014). Esses estudos verificaram que, quando o lodo de esgoto é aplicado ao solo, os teores de Cu, Fe, Mn, Zn, Cd Cr, Ni e Pb é aumentado, porém, segundo Firme (2009) a aplicação do lodo de esgoto dentro dos critérios técnicos (CONAMA, 2006) não resultou na contaminação florestal no aspecto solo-planta. Ainda, Andrade e Mattiazzo (2000) mencionam que não houve lixiviação de nitratos e nem fitodisponibilidade alterada para os metais Cu, Ni e Zn. Apesar da elevada concentração de alguns metais pesados nas raízes das plantas de eucalipto com 4 anos de idade, Ferraz e Poggiani (2014) descrevem que as raízes não demonstraram sinais de toxidez e a adição de lodo de esgoto promoveu um acréscimo no peso das raízes. Esses estudos dão indícios de que, a curto prazo, o lodo de esgoto não apresenta riscos de contaminação por metais pesados à fauna e a flora em cultivos de eucalipto. No entanto, ainda há a necessidade de se analisar o efeito do risco de contaminação desse biossólido a longo prazo.

Além dos benefícios proporcionados pela utilização do lodo de esgoto para o incremento da produtividade em eucalipto e na maior disponibilidade de nutrientes no solo e sua reciclagem, o lodo de esgoto também promove alterações nas propriedades físicas e químicas do solo. Campos e Alves (2008) observaram que para um Latossolo Vermelho degradado e cultivado por dois anos e meio por *Eucalyptus citriodora* Hook e *Brachiaria decumbens*, este apresentou melhoras nos atributos físicos do solo após a aplicação de 30 e 60 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Guedes et al. (2006), por sua vez, observaram que a aplicação de biossólidos alcalino diminuiu a acidez do solo e melhorou sua fertilidade, aumentando a disponibilidade da maioria dos nutrientes. Ainda, foi verificado por Lira et al. (2008) que doses de 40 t ha⁻¹ de biossólido, apresentaram 63% a mais de biomassa acima do solo do que o tratamento sem aplicação, o que promoveu

o aumento da quantidade de matéria orgânica no solo.

Produção de mudas de eucalipto com substrato de lodo de esgoto

A produção de mudas de espécies florestais em substrato misturado com lodo de esgoto é uma prática que vem sendo muito estudada, principalmente, nos últimos 5 anos. Esse fato é comprovado pela revisão de literatura realizado por Magela et al. (2012), em que mencionam somente 2 trabalhos (FREIER et al., 2006 e PAEZ, 2011) estudaram o efeito da produção de mudas de eucalipto em substrato misturado com lodo de esgoto. É importante enfatizar que, já em 2003, Trigueiro e Guerrini (2003) mostravam indícios da melhora nos desempenhos de altura, diâmetro do colo e acúmulo de matéria seca em mudas de eucalipto quando cultivados em substratos com de lodo de esgoto em sua composição.

Entre 2013 e 2018 foram encontrados 4 trabalhos científicos em que o lodo de esgoto foi testado em substituição parcial ou total na composição do substrato para a produção de eucalipto. Caldeira et al. (2013), utilizando diferentes proporções entre vermiculita e lodo de esgoto observaram que, para todas as misturas, os parâmetros analisadores foram sempre superiores estatisticamente quando comparado ao substrato comercial. Ainda segundo esses autores, o tratamento que mais se destacou foi aquele com 20% de lodo de esgoto e 80% de substrato comercial, sendo os valores de altura das mudas 3 vezes maior em relação ao tratamento com substrato comercial (35,6 e 9,7 cm, respectivamente).

Ao avaliar o efeito da utilização de doses crescentes de lodo de esgoto (25, 50 e 75%) na produção de mudas de eucalipto aos 75 dias de desenvolvimento, Afáz et al. (2017) observaram que os valores da taxa de crescimento relativo foram iguais significativamente entre os tratamentos com lodo de esgoto e adubação mineral, sendo maiores estatisticamente do que o tratamento testemunha (somente areia). Ainda, foi observado que a mistura com 50% de lodo de esgoto apresentou os melhores índices entre todos os tratamentos avaliados. Esses resultados são similares aqueles apresentados em mudas de 180 dias por Leila et al. (2017), em que o tratamento cultivado no substrato com 60% lodo de esgoto em sua composição foi o que obteve os melhores índices de altura de planta e número de folhas. A partir desses estudos, é possível afirmar que o lodo de esgoto na formulação de lodo de esgoto é uma alternativa à utilização de adubação

mineral devido à sua disponibilização de nutrientes às plantas, o que também foi constatado quando este é aplicado no solo para a produção em campo por diversos autores (tópico anterior).

Em um estudo recente, Silva et al. (2018) também descrevem que o lodo de esgoto misturado com casca de pupunha tem viabilidade para a produção de mudas de eucalipto. Curiosamente, esses autores observaram que a utilização de qualquer proporção lodo de esgoto no substrato apresentou valores maiores ao substrato 100% comercial somente quando foi adicionado 4 g dm⁻³ ou mais de fertilizante granulado (N-P-K na proporção 15-9-12). Esses resultados diferem do que vinha sendo observado até então por outros pesquisadores, em que o lodo de esgoto substitui a utilização de adubação mineral em sua totalidade. Entretanto, devido ao fato de que os valores se assemelharam aos do tratamento de somente substrato comercial, esse se destaca como resultado promissor, mostrando o potencial da utilização de lodo de esgoto para produção de mudas de eucalipto.

Conclusões

A aplicação do biossólido em plantio de eucalipto deve ser incentivada, principalmente pela similaridade nos índices produtivos de madeira quando comparado ao cultivo sob adubação mineral. Além disso, sua utilização em cultivos de espécies florestais é uma alternativa viável a sua destinação final do biossólido, pois reduz a contaminação causado devido a sua deposição inadequada.

De maneira geral, a aplicação do lodo de esgoto garante o aumento da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes de forma prolongada. Consequentemente, é observado um benefício direto às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, favorecendo o aumento da produção e garantindo a sustentabilidade do ecossistema. Ainda, tem-se verificado que a utilização de 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto é a mais recomendada devido aos satisfatórios índices produtivos de madeira de eucalipto obtidos.

Apesar dos promissores resultados sobre os riscos de contaminação por metais pesados, ainda é necessário maiores estudos para comprovar que esse biossólido pode ser utilizado, pois o efeito destes contaminantes no solo e nas plantas a médio e longo prazo ainda são pouco conhecidos. Em função disso, torna-se essencial determinar a concentração desses compostos antes da sua aplicação ao solo, sendo seu uso somente recomendado quando em conformidade

com a resolução do CONAMA (2006).

A produção de mudas por meio de substrato misturado com lodo de esgoto vem mostrando resultados satisfatório, sendo possível substituir totalmente a adubação mineral. Pelos resultados obtidos até então, a melhor combinação de mistura de

substrato é aquela em que o lodo de esgoto faz parte de cerca de 50% da sua composição. No entanto, ainda é necessário maiores estudos sobre a utilização desse componente, principalmente sobre o efeito de utilização de 100% de lodo de esgoto na composição do substrato.

Referências

- AFÁZ, D. C. S.; BERTOLAZI, K. B.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 112-123, 2017. DOI:10.4136/ambi-agua.1965
- ANDRADE, C. A.; 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**, v. 58, p. 59-72, 2000.
- ANDRADE, C. A. **Fração orgânica de biossólidos e efeito no estoque de carbono e qualidade da matéria orgânica de um Latossolo cultivado com eucalipto**. 2004. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; 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:10.1590/S0100-06832005000500016
- BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. M.; SANSÍGOLO, 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. DOI:10.1590/S0100-67622007000100012
- CALDEIRA, M. V.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013. DOI:10.1590/S1983-40632013000200002
- CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1389-1397, 2008. DOI:10.1590/S0100-06832008000400003
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – Resolução no 375/2006. Ministério do Meio Ambiente Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n 167, p 141-146, 30 ago 2006.
- FARIA, L. C. **Fertilização de povoamentos de eucalipto com biossólido da ETE de Barueri, SP: demanda potencial e nível mínimo de resposta**. 2000. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FARIA, L. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. 2000. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: V. avaliação do potencial de uso do resíduo da ETE de Barueri, SP. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, cap. 12, p. 209-213.
- FERRAZ, A. V.; POGGIANI, F. Biomassa, nutrientes e metais pesados em raízes de eucaliptos adubados com diferentes lodos de esgoto. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 311-320, 2014. DOI:10.1590/01047760.201420021491
- FIRME, L. P. **Produção de madeira e elementos potencialmente tóxicos no sistema solo- eucalipto tratado com lodo de esgoto**. 2009. 81p. Tese (Doutorado em Ciência). Centro de energia nuclear na agricultura da USP, Piracicaba.
- FORTES NETO, P. **Degradação de biossólido incorporado ao solo avaliada através de medidas microbiológicas**. 2000. 113p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FREIER, M.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 2, p. 102-107, 2006.

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. 74p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATIAZZO, 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, p. 267-280, 2006. DOI:10.1590/S0100-06832006000200008

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 188-201, 2003

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus Grandis*.** 2005. 154p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

JUNIOR, C. R. S.; FILHO, M. T.; LOUSADA, J. L.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação de fertilização nitrogenada e lodo de esgoto nas características da madeira juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 303-312, 2009.

KIMBERLEY, M. O. A.; WANG, H.; WILKS, P. J.; FISHER, C. R.; MEGASAN, G. N. Economic analysis of growth response from a pine plantation forest applied with biosolids. **Forest Ecology and Management**, v. 189, n. 1-3, p. 345-351, 2004. DOI:10.1016/j.foreco.2003.09.003

LEILA, S.; MHAMED, M.; HERMANN, H.; MYKOLA, K.; OLIVER, W.; CHRISTIAN, M.; ELENA, O.; NADIA, B. Fertilization value of municipal sewage sludge for *Eucalyptus camaldulensis* plants. **Biotechnology Reports**, v. 13, p. 8-12, 2017. DOI:10.1016/j.btre.2016.12.001

LIRA A. C. S. de; GUEDES, M. C.; SHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 207-216, 2008. DOI:10.1590/S1413-41522008000200011

MAGELA, M. L.; CAMARGO, R.; SOUZA, M. F.; FILO, A. A.; PAULA, C. O. Biossólido na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora* Hook). **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 166-178, 2012.

MARTINS, L. F. S. **Configuração do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido.** 2002. 73p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Eds.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001.

MOLINA, M. V. **Nitrogênio e Metais pesados em latossolo e eucalipto cinquenta e cinco meses após a aplicação de biossólido.** 2004. 66p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOLINA, M. V.; MATIAZZO, M. E.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F. Nitrogênio e metais pesados no solo e em árvores de eucalipto decorrentes da aplicação de biossólido em plantio florestal. **Scientia Florestalis**, n. 71, p. 25-35, 2006.

PAEZ, D. R. M. **Utilização do lodo de esgoto na produção de mudas e no cultivo do eucalipto (*Eucalyptus spp*).** 2011. 44p. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação e Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIRES, I. C. G. **Lodo de esgoto em platio de *Eucalyptus grandis*: produção de madeira e viabilidade econômica.** 2015. 88p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucalipto. **Silvicultura**, n. 80, p. 48-52, 1999.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. 2000. Aplicabilidade do Biossólido em plantações florestais I. Reflexo do ciclo dos nutrientes. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impactos Ambientais do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, cap. 8, p 162-178.

ROCHA, G. N. **Monitoramento da fertilidade do solo, nutrição mineral e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido.** 2002. 48p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 623-639, 2004. DOI:10.1590/S0100-06832004000400005
- SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014. DOI:10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p971-979
- SILVA, F. A. M.; NUNES, G. M.; ZANON, J. A.; GUERRINI, I. A.; SILVA, R. B. 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:10.5902/1980509832101
- SILVA, P. H. M. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantios de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de lodo de esgoto**. 2006. 117p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- SILVA, P. H. M.; FABIO, P.; 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, p. 1-11, 2011. DOI:10.1155/2011/710614
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F. 2005. **Lodo de Esgoto tratado (bioossólido) em Plantações Florestais**. IPEF-Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/lodo.asp>
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. 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. 2008. DOI:10.1590/S0100-67622008000500009
- TOLEDO, F. H. S. F.; VENTURIN, N.; DIAS, T. C. O uso de bioossólidos no setor florestal. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 2275-2294, 2012.
- TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A.; Uso de bioossólidos como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 150-162, 2003.
- VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Crescimento inicial e fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com bioossólido. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 26, p. 151-174, 2002
- VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. 2002. Uso de bioossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 747-758. DOI:10.1590/S0100-06832002000300020
- VAZ, L. S. V. **Crescimento inicial, fertilidade do solo e nutrição de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com bioossólido**. 2000. 41p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.