



### III-038 - ESTUDO DOS EFEITOS AMBIENTAIS E DO DESENVOLVIMENTO VEGETAL DEVIDO A INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL NO SOLO

#### Janara Benvenutti

Bióloga pela Universidade do Vale do Itajaí; Especialista em Gerenciamento de Águas e Efluentes pela Faculdade de Tecnologia Senai Blumenau; Mestranda do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau

#### Cristina de Moura Leite Lourenço

Engenharia Agrônoma com área de concentração em Manejo Ambiental pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo em 2005. Aluna do curso de especialização em Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Atuou no período de 2005/2006 em projetos voltados ao meio ambiente pela Intech Engenharia e Meio Ambiente Ltda.

#### Adilson Pinheiro<sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Mestre em Engenharia de Recursos hídricos e Saneamento pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; doutor em Física e Química do Ambiente pelo Institut National Polytechnique de Toulouse (França); professor da Universidade Regional de Blumenau.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Rua São Paulo, 3250, 89030-000, Blumenau, SC, Brasil. Tel.: (55) 47 32216078, email. [pinheiro@furb.br](mailto:pinheiro@furb.br)

#### RESUMO

A disposição final dos resíduos do processo de tratamento de efluentes, por ser onerosa tanto para as empresas quanto para o meio ambiente tem motivado inúmeros estudos envolvendo sua aplicação agrícola. As pesquisas sobre a aplicação do lodo na agricultura estão voltadas para a avaliação do desempenho agrônomo, comprovando efetivamente o aumento da produtividade das culturas em função do fornecimento de nutrientes. Entretanto, ainda é pouco conhecido o potencial de degradação do solo, da água e das plantas por metais pesados. Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto no solo ocasionado pela incorporação de lodo residual proveniente do tratamento de efluentes da indústria têxtil, obtido por estabilização biológica do lodo e fitorremediação do solo com mudas de eucalipto. Foi construído um lisímetro de concreto e preenchido com solo retirado de uma pastagem nativa, sendo misturado com lodo proveniente da indústria têxtil, na proporção solo:lodo de 9:1(v/v). Observa-se que os teores de alumínio, chumbo e ferro que se encontravam acima dos valores limites permitidos pela NBR 10004/2004 sofreram um decréscimo ao longo do experimento, sendo que o chumbo passou a um teor dentro do limite aceitável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos têxtil, lodo de ETE, contaminação do solo.

#### INTRODUÇÃO

A degradação de solos e águas naturais tem sido um dos grandes problemas da sociedade moderna. O setor têxtil apresenta um destaque especial, devido ao seu enorme parque industrial instalado gerar volumes elevados de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas à qualidade ambiental e à saúde humana.

Segundo o Banco Mundial, as indústrias têxteis se encontram entre as principais indústrias causadoras de degradação das águas. Sua atividade produz líquidos residuais caracterizados, principalmente por possuir alta alcalinidade, elevados valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), serem altamente coloridos devido à presença de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento e conter abundantes sólidos em suspensão (EOSN, 1973 apud Asselborn; Domitrovic, 2002).

A poluição de corpos d'água com estes compostos provoca, além da poluição visual, alterações em ciclos biogeoquímicos, afetando principalmente processos de fotossíntese. Além deste fato, estudos têm mostrado que algumas classes de corantes, principalmente azocorantes, e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos.



No setor têxtil ainda, as indústrias de Santa Catarina destacam-se por estarem localizadas em zonas urbanas de densidade elevada, o que tende a agravar ainda mais os problemas de poluição, principalmente aqueles ligados a tratamento de água para abastecimento público e esgoto sanitário (Baptista et al., 2002).

Durante o processo de tratamento dos efluentes, uma quantidade considerável de resíduos sólidos é formada, e um destino adequado a este resíduo se faz necessário, porém, este processo, reflete diretamente em custo elevado para as empresas geradoras de efluentes. A disposição destes resíduos requer grandes áreas para disposição final devido à grande quantidade gerada, e requer ainda localizações isoladas da população, uma vez que odores são produzidos.

Por possuir grandes quantidades de matéria orgânica, pode ser utilizado para fins agrícolas. Entretanto, torna-se necessário a avaliação quanto a presença ou não de substâncias que possam causar danos saúde pública e ambiental (Araújo, 2004).

Com o surgimento de técnicas como a biorremediação e a fitorremediação estes problemas de disposição do lodo podem ser minimizados consideravelmente. A fitorremediação apresenta grande potencial em relação a métodos físico-químicos, oferecendo menor impacto ambiental e custo de implementação (Salt et al., 1998. Singh et al., 2003). O princípio da fitorremediação se baseia nos mecanismos de tolerância à acumulação de metais existentes nas plantas, de forma a manter as funções celulares mesmo na presença de altas concentrações de metais. Estes mecanismos incluem a compartimentalização dos metais em estruturas subcelulares, exclusão e/ou diminuição do transporte através da membrana e a formação de peptídeos quelantes, ricos em cisteínas, como as fitoquelatinas e metalotioneínas, que auxiliam direta ou indiretamente, na acumulação de metais pelas plantas (Cohbet e Goldsbrough, 2002).

Desta forma, existe a necessidade de valorar os resíduos sólidos de diferentes naturezas, utilizando-o como matéria-prima para a produção de um material utilizável.

De acordo com Mulgrew e Williams (2000) estudos comprovaram que espécies vegetais vêm sendo utilizadas como bioindicadores e bioacumuladores de vários poluentes, retirando do ar, solo e água muitos deles, diminuindo assim seus índices no meio ambiente. Esta taxa de diminuição irá depender de fatores como clima, natureza dos poluentes e características dos vegetais.

A aplicação de biossólidos a culturas não destinadas ao consumo humano, pelo menos diretamente, é preconizada como forma conservativa de garantia contra efeitos adversos à saúde humana, principalmente com relação a bioacumulação trófica de metais pesados a partir dos solos tratados com o resíduo. Culturas como da cana-de-açúcar, para a indústria de álcool, eucalipto, para produção de madeira, celulose e papel e gramíneas forrageiras como o colômbio, visando a obtenção de carvão vegetal, apresentam essa vantagem adicional (Andrade, 2004).

Segundo Bettiol (2000) e Silva et al. (2003) as pesquisas sobre a aplicação do lodo na agricultura estão voltadas mais para a avaliação do desempenho agrônomo, comprovando efetivamente o aumento da produtividade das culturas em função do fornecimento de nutrientes. Entretanto, ainda é pouco conhecido o potencial de degradação do solo, da água e das plantas por metais pesados. Desta forma, faz-se necessária a determinação do impacto resultante das interações químicas, físicas e biológicas do sistema solo-lodo.

O presente trabalho buscou avaliar o impacto no solo ocasionado pela incorporação de lodo residual proveniente do tratamento de efluentes da indústria têxtil, obtido por estabilização biológica do lodo e fitorremediação do solo com mudas de Eucalipto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de avaliar o impacto no solo ocasionado pela incorporação de lodo residual proveniente do tratamento de efluentes da indústria têxtil, obtido por estabilização biológica do lodo e fitorremediação do solo com mudas de eucalipto, foi construído um lisímetro de concreto com as seguintes dimensões: 4 metros de comprimento por 4 metros de largura e 1 metro de profundidade e um tubo de drenagem na parte inferior para coleta do líquido lixiviado. Estas coletas foram realizadas quinzenalmente.



O lisímetro foi preenchido com solo retirado de uma pastagem nativa da região previamente misturado com lodo proveniente de um sistema de tratamento de águas residuárias de indústrias têxteis, na proporção solo: lodo de 9:1(v/v). As características químicas do substrato utilizado no lisímetro para o plantio das mudas antes da incorporação do lodo (amostra identificada como controle) foi realizada no início do experimento e após a incorporação de lodo (amostra identificada como solo + lodo) foram determinadas três vezes. A primeira foi realizada ainda no mês de setembro, a segunda no mês de dezembro e a última quando encerrou-se o experimento.

Foram plantadas mudas de eucalipto com cerca de 25 cm de altura, aptas a irem para o campo. O espaçamento utilizado foi de 1 m entre as linhas e 0,5 m entre plantas da mesma linha, sendo plantadas no total de 15 mudas da espécie *E. grandis*. Esta espécie foi utilizada pela disponibilidade de sementes e o fato dela já ser utilizada em reflorestamentos na região onde foi realizado o experimento. *E. grandis* faz parte de um grupo de espécies que mais frequentemente são encontradas no sul do Paraná e no estado de Santa Catarina e que possuem as características de tolerarem invernos rigorosos e geadas.

Sendo o solo proveniente de uma outra área, para ser transferido ao lisímetro, esta área primeiramente sofreu uma limpeza, já que o eucalipto é muito sensível à competição por luz, água e nutrientes, por isso não aceita a concorrência. Em seguida o solo foi colocado no lisímetro, onde procede-se a demarcação e abertura das covas.

As covas possuíam as seguintes dimensões: 20 x 20 cm e 20 a 30 cm de profundidade. O material retirado da cova foi separado, em seguida colocaram-se os adubos no fundo da mesma, cobriu-se com parte do solo separado anteriormente e colocou-se a muda, preenchendo a cova com o restante do solo separado.

Foram realizadas adubações segundo a necessidade verificada através de análises químicas do solo realizadas pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, localizada no município de Piracicaba, interior de São Paulo. Para a obtenção da recomendação de calcário e dos demais fertilizantes, seguiu-se a metodologia descrita no Boletim Técnico Número 106 (IAC, 1986).

Como prática corretiva, foi realizada a calagem, utilizando 1,6 kg de calcário calcítico distribuído nas 15 covas do lisímetro. Para a adubação de plantio, foi utilizado 48 g de uréia e 32 g de KCl, que foram distribuídos nas 15 covas.

No caso deste experimento não foi realizada uma adubação de cobertura, pois o mesmo, foi encerrado com 5 meses e no caso da recomendação feita pela (Esalq), esta adubação deveria ocorrer por volta dos 6 meses de idade das plantas.

O lisímetro foi coberto de forma que permitisse a entrada de luminosidade, porém, foi controlada a quantidade de água, que foi fornecida segundo os dados pluviométricos da região.

Para o monitoramento do sistema, foram realizadas as seguintes análises:

- **Análises químicas do substrato:** de acordo com as metodologias descritas por Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001). Os parâmetros avaliados foram: pH (acidez ativa) Método:  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol.l<sup>-1</sup>.; H+Al (acidez potencial); Alumínio trocável - Método: pH SMP.; Matéria orgânica - Método: Colorimétrico.; Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio - Método: Resina trocadora de íons.;  $\text{S-SO}_4^{2-}$  (Enxofre) - Método: Turbidimetria ( $\text{BaCl}_2$  em pó).; Fe, Mn, Cu e Zn- Método: DTPA (Absorção Atômica).; Boro:  $\text{BaCl}_2.2\text{H}_2\text{O}$  - Método: microondas.

- **Análises de material orgânico:** estas análises seguiram o método do ataque do ácido nitroperclórico, descrito em Kiehl, (1985). São exemplos de alguns parâmetros avaliados: pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, densidade, umidade perdida a 60-65 °C, umidade perdida entre 65 e 110 °C, umidade total, inertes, matéria orgânica total (combustão), matéria orgânica compostável, matéria orgânica resistente à compostagem, carbono total (orgânico e mineral), carbono orgânico, resíduo mineral total, resíduo mineral insolúvel, resíduo mineral solúvel, nitrogênio total, fósforo total, potássio total, cálcio total entre outros.

- **Análises Microbiológicas: Respirometria:** liberação de  $\text{CO}_2$ . A atividade microbiana determinada pela liberação de  $\text{CO}_2$  do lodo foi realizada por meio da adição de 50g de lodo peneirada e com umidade ajustada a



80% da capacidade de campo, dentro de um jarro de vidro fechado hermeticamente, contendo, em seu interior, um cadinho de vidro com 10 mL de NaOH (0,5M). Os jarros de vidro, depois de fechados, foram levados para a incubação em uma sala climatizada à temperatura de 28°C, por um período de sete dias. Em intervalos de dois dias foram realizadas as determinações do CO<sub>2</sub> desprendido pelas amostras de lodo e que foi capturado pelo hidróxido de sódio contido nos cadinhos de vidro. Aos cadinhos contendo o hidróxido de sódio foram adicionados 1 mL de BaCl<sub>2</sub> (50%) e três gotas do indicador fenolftaleína (3%) e, depois, foi efetuada a titulação com HCl (0,5M), para determinar as concentrações em mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de lodo (Stotzky, 1965). O valor médio de CO<sub>2</sub> liberado do solo em cada período de coleta foi o resultado do somatório da quantidade de CO<sub>2</sub> determinado durante 6 dias de incubação das amostras de solo.

**Biomassa microbiana:** A determinação da biomassa de carbono no lodo foi realizada usando-se o método de fumigação e extração de amostras de lodo (Vance et al., 1987). Duas subamostras de 10g de lodo por tratamento foram preparadas e uma subamostra foi submetida à fumigação com clorofórmio em um dessecador fechado a vácuo, por um período de 24 horas. A outra subamostra, não fumigada, armazenada por 24 horas na câmara fria. Após 24 horas, as subamostras fumigada e não fumigada foram retiradas do dessecador e da câmara fria. A elas foram adicionados 40mL de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5 M), e foram colocadas por uma hora em agitador contínuo. Depois de agitadas, as subamostras foram filtradas em papel de filtro Whatman n° 42; 10mL do filtrado das subamostras fumigada e não fumigada foram retiradas, para a determinação da biomassa de carbono. As subamostras fumigadas e não fumigada foram adicionados 1mL de KCr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (0,4 N) e mais 10mL de uma mistura de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrados; depois foram colocadas em banho-maria por uma hora, à temperatura de 60°C. Após uma hora, as subamostras foram retiradas e, depois de resfriadas, serão acrescentados 10 mL de água destilada. A determinação do carbono será feita por titulação das subamostras contendo uma gota de fenantrolina com Fe(NH<sub>4</sub>)(SO<sub>4</sub>), e o cálculo da biomassa microbiana do carbono foi efetuado através da subtração dos valores de carbono da amostra fumigada e não fumigada e a diferença dividido pelo fator (k Ec) igual a 0,33;.

**Contagem de bactérias e fungos no lodo:** A contagem de bactérias e fungos no lodo foi determinada pelo Número Mais Provável (NMP) de microrganismos do solo, utilizando a técnica de plaqueamento em gotas de meio de cultura agarizado sobre placa de Petri (Jahnel et al., 1999). As diluições para determinar a contagem de bactérias e fungos foram realizadas em uma suspensão obtida a partir de 10g de lodo suspensas em 90mL de solução salina a 0,85%, contidas em frascos Erlenmeyer. Os frascos foram submetidos por 10 minutos à agitação circulante e depois, foram realizadas as diluições sucessivas até 10<sup>-2</sup> para fungos e até 10<sup>-3</sup> para bactérias. Essas diluições foram realizadas transferindo-se, com o auxílio de uma micropipeta, alíquotas de 1 mL dos tubos de ensaio contendo 0,9 mL de meio de cultura agarizado, mantidos em banho-maria a 45°C até o momento do plaqueamento. O plaqueamento do meio de cultura agarizado foi realizado em câmara de fluxo laminar, com a distribuição de gotas com volume de 0,04 mL na superfície de placas de Petri esterilizadas. As placas foram vedadas e incubadas em estufa para D.B.O (demanda bioquímica de oxigênio) à temperatura de 28°C, por um período de 48 horas. Após o período de incubação, foi contado o número de gotas que apresentavam crescimento microbiano em cada uma das diluições e pôde-se estimar o Número Mais Provável (NMP) de microrganismos, com o auxílio de uma Tabela de probabilidade de ocorrência (Tabela de McCrady). Para o crescimento de bactérias, o meio de cultura utilizado foi o ágar nutriente e, para os fungos, o meio de Martin, com exclusão do corante rosa bengala.

- **Análise Foliar:** Foram realizadas avaliações qualitativa e quantitativa das substâncias lixiviadas e solubilizadas no sistema solo-lodo; Avaliação qualitativa e quantitativa dos metais retidos no tecido vegetal; Avaliação do desenvolvimento das plantas neste sistema; e avaliação da atividade microbiológica no sistema solo-lodo

## RESULTADOS

Nos cinco meses de experimentação foram aplicados 830,70 mm de precipitação, que foi distribuída conforme medida na estação pluviométrica situada nas proximidades.

No lisímetro foi gerado lixiviado nos dois primeiros dias. Nos demais, o sistema não produziu escoamento em profundidade.

Na caracterização do substrato foram feitos dois ensaios: um de lixiviação e outro de solubilização. No ensaio de lixiviação todos os parâmetros apresentaram valores dentro dos considerados limites pela NBR 10004/2004 (Tabela 1):



Tabela 1: Ensaio de Lixiviação

Parâmetros	Solo - 09/2005	Solo + Lodo - 09/2005	Solo + Lodo - 12/2005	Solo + Lodo - 01/2006	Limite NBR 10004
Arsênio	0,075000	0,05600	< 0,01000	< 0,00100	1,000 mg/l
Bário	< 0,100000	< 0,10000	0,22000	0,08300	70,000 mg/l
Cádmio	< 0,020000	< 0,02000	0,00200	< 0,00010	0,500 mg/l
Chumbo	0,110000	0,10000	0,00400	0,00500	1,000 mg/l
Cromo	< 0,050000	< 0,05000	0,04000	0,03000	5,000 mg/l
Fluoreto	0,040000	0,04000	< 0,05000	0,50000	150,000 mg/l
Mercurio	< 0,000100	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	0,100 mg/l
pH	Não analisado	Não analisado	4,80000	4,30000	-
Prata	< 0,020000	< 0,02000	< 0,00010	< 0,00010	5,000 mg/l
Selênio	< 0,000040	< 0,00004	< 0,00100	< 0,00100	1,000 mg/l

Apresenta-se a seguir uma descrição da variação dos parâmetros avaliados ao longo do experimento, sendo os mesmos agrupados, segundo a semelhança de comportamento.

- Arsênio, cádmio, cromo, prata e chumbo apresentaram um comportamento semelhante ao longo do experimento. Eles possuíam seus teores mais altos no início e ao longo do tempo estes foram decrescendo, porém, sempre dentro dos limites estabelecidos como aceitáveis pela norma da NBR 10004 (2004).

- Fluoreto e selênio mostraram valores constantes no solo antes e após a incorporação de lodo, mas estes valores sofreram um incremento ao longo do experimento. Estes parâmetros durante todo o período do experimento ficaram dentro dos limites aceitos pela NBR, porém, mesmo estando dentro dos limites estes valores aumentaram.

- Mercúrio e bário se mantiveram estáveis, porém bário apresentou um incremento seguido de um decréscimo de seu teor na amostra.

No ensaio de solubilizado, alguns elementos como o alumínio, o chumbo e o ferro apresentaram teores acima dos limites estabelecidos pela NBR 10004/2004, mesmo antes da incorporação do lodo. No momento desta incorporação, os teores de alumínio e chumbo aumentaram, porém o de Ferro permaneceu constante, neste período.

No decorrer do período, o teor de chumbo diminuiu e atingiu o limite permitido pela NBR 10004, porém o alumínio e o ferro se comportaram de maneira oposta, sendo que o alumínio diminuiu com o passar do tempo enquanto que o ferro aumentou. Ao final dos 5 meses, o alumínio apresentou um pequeno aumento e o ferro uma sensível queda em seus teores (Tabela 2).





Tabela 2: Ensaio de solubilização

Parâmetros	Solo - 09/2005	Solo + Lodo 09/2005	Solo + Lodo 12/2005	Solo + Lodo 01/2006	Limite NBR 10004
Alumínio	<b>13,370000</b>	<b>50,10000</b>	<b>6,88000</b>	<b>6,95000</b>	0,200 mg/l
Arsênio	0,008000	0,00600	< 0,00100	< 0,00100	0,010 mg/l
Bário	< 0,100000	< 0,10000	< 0,00800	0,00270	0,700 mg/l
Cádmio	0,000018	0,00016	< 0,00010	< 0,00010	0,005 mg/l
Chumbo	<b>0,030000</b>	<b>0,08000</b>	< 0,00200	0,00200	0,010 mg/l
Cianeto	Não analisado	Não analisado	< 0,00400	< 0,00400	0,070 mg/l
Cloretos	1,960000	29,40000	17,40000	16,80000	250,000 mg/l
Cobre	< 0,030000	< 0,03000	0,05000	0,10300	2,000 mg/l
Cromo	< 0,050000	< 0,05000	0,03600	0,01800	0,050 mg/l
Fenol	0,005400	0,00400	< 0,05000	< 0,05000	0,010 mg/l
Ferro	<b>7,970000</b>	<b>7,97000</b>	<b>73,65000</b>	<b>22,30000</b>	0,300 mg/l
Fluoreto	< 0,010000	< 0,01000	< 0,05000	0,39000	1,500 mg/l
Manganês	< 0,020000	0,04000	0,06200	0,09300	0,100 mg/l
Mercurio	< 0,000100	< 0,00010	< 0,00100	< 0,00010	0,001 mg/l
Nitrato	0,610000	2,63000	1,58000	7,07000	10,000 mg/l
PH Final	Não analisado	Não analisado	5,70000	5,50000	- mg/l
Prata	< 0,020000	< 0,02000	< 0,00010	< 0,00010	0,050 mg/l
Selênio	< 0,000040	0,00130	< 0,00100	< 0,00100	0,010 mg/l
Sódio	4,520000	14,12000	22,00000	24,50000	200,000 mg/l
Sulfato	26,730000	83,76000	< 4,00000	71,70000	250,000 mg/l
Surfactantes	Não analisado	Não analisado	< 0,05000	< 0,05000	0,500 mg/l
Zinco	0,060000	0,22000	0,02800	0,23800	5,000 mg/l

Alguns elementos como o cobre, manganês e fluoreto tiveram um aumento em seus teores ao longo do experimento, o que já não ocorreu com o cromo que teve um decréscimo de seu teor no mesmo período. Com o zinco ocorreu um aumento significativo no momento da incorporação do lodo e ao final do experimento, porém entre estes intervalos, houve uma queda do seu teor.

Alguns elementos sofreram um incremento em seus teores ao longo do período analisado, como é o caso do sódio e fenol, porém outros elementos apresentaram um comportamento oposto, ou seja, um decréscimo de seu teor. São exemplos destes elementos: bário, arsênio, prata, selênio, cádmio e cloretos. Durante o experimento houve uma alteração no laboratório que realizou as primeiras análises, por isso o cianeto e os surfactantes só foram abalizados do meio do experimento em diante e deste período até o final do mesmo eles se mantiveram constantes.

O comportamento do nitrato e do sulfato que no momento da incorporação do lodo tiveram seus teores aumentados, posteriormente decrescidos e novamente aumentando do final do experimento.

O mercúrio foi o elemento que apresentou um comportamento diferenciado dos demais já que se manteve estável no momento da incorporação de lodo, posteriormente aumentou e depois voltou ao mesmo nível.

No decorrer do experimento, houve uma alteração nas características químicas como aumento do pH, do teor de matéria orgânica e dos teores de elemento como o fósforo, enxofre, potássio, cálcio e magnésio, resultando em aumento da capacidade de troca de cátions do solo. Este aumento do teor de matéria orgânica é benéfico visto que melhora a estrutura do solo, a infiltração e retenção de água, a quantidade de cátions disponíveis para as plantas (CTC) e conseqüentemente a produtividade deste mesmo solo. Nas características físicas, ele se apresentou menos compactado e com maior porosidade, já que os blocos formados com a secagem do lodo se desfizeram.

Estes resultados estão melhor compreendidos, a partir da apresentação nas tabelas 3 e 4, nas quais se encontram as análises de macro e micronutrientes respectivamente.



Tabela 3: Análises Químicas contendo os Macronutrientes

Amostra	pH		M.O. g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	S mg dm <sup>-3</sup>	K	C	M	Al	H + Al mmolc dm <sup>-3</sup>	SB	T	V %	m
	Ca	Cl <sub>2</sub>					a	g						
SOLO 09/2005	4,4		18	2	4	0,6	15	12	5,0	38	27,6	65,6	42	
SOLO + LODO 09/2005	4,8		23	35	6	1,4	19	15	2,0	38	35,4	73,4	48	
SOLO + LODO 11/2005	4,8		20	51	96	1,3	24	23	3,0	34	48,3	82,3	59	6
SOLO + LODO 12/2005	5,5		20	49	131	1,5	48	22	0,0	22	71,5	93,5	78	0
SOLO + LODO 01/2006	4,5		20	47	92	1,4	20	18	5,0	42	39,4	81,4	48	11

Tabela 4: Análises Químicas contendo os Micronutrientes

Amostra	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm <sup>-3</sup>				
CONTROLE Set/2005	0,61	0,10	122,00	2,80	0,50
SOLO + LODO Set/2005	0,65	0,80	203,00	8,00	11,80
SOLO + LODO Nov/2005	0,67	0,70	45,00	2,00	7,10
SOLO + LODO Dez/2005	0,67	0,6	79	2,0	6,4
SOLO + LODO Jan/2006	0,57	0,90	59,00	2,00	8,70

Estas análises foram realizadas como uma complementação das demais análises químicas. Este tipo de análise possui uma metodologia diferenciada. Portanto para um mesmo parâmetro avaliado anteriormente, os resultados poderão apresentar diferenças. Foram realizadas duas conjunto de análises, uma com a amostra a 65°C, denominada umidade natural (Tabela 5) e a outra a 110°C, denominada base seca (Tabelas 6).

A porcentagem de resíduo mineral total aumentou no decorrer do período, conseqüentemente a porcentagem do resíduo insolúvel e do solúvel também aumentaram. Um comportamento semelhante foi observado para as análises feitas em base seca, ou seja, a 110°C.

O mesmo ocorreu com a relação C/N tanto para carbono total, como para carbono orgânico nas amostras a 65 e 110°C. Ao final do experimento esta relação estava superior ao valor encontrado no início do mesmo.

Os teores de matéria orgânica total, compostável e resistente à compostagem, variaram de forma semelhante ao longo do experimento tanto nas amostras úmidas e secas. No momento em que foi incorporado o lodo houve um incremento em todos os teores de matéria orgânica, sendo que estes apresentaram uma queda no decorrer do experimento, mas se mantiveram superiores ao solo natural, ou seja, sem lodo incorporado.

O mesmo comportamento foi observado em relação ao teor de carbono orgânico e de carbono total (mineral + orgânico) nas amostras a 65°C e 110°C, ambos se mostraram superiores aos valores no início do experimento no solo sem a incorporação de lodo.

As variações ocorridas nos teores dos minerais das amostras analisadas. Com exceção do nitrogênio, todos os demais minerais analisados apresentaram teores superiores ao solo antes da incorporação do lodo.



**Tabela 5: Análises do Material Orgânico a 65°C.**

Parâmetros	Unidade	Solo 09/2005	Solo + Lodo 09/05	Solo + Lodo 11/05	Solo + Lodo 01/06
pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01 M	%	4,80	5,40	6,30	4,80
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	1,08	0,97	1,63	1,29
Umidade Perdida a 60-65°C	%	29,39	30,63	27,11	14,96
Umidade Perdida entre 65 e 110°C	%	0,80	0,87	1,33	1,98
Umidade Total	%	30,19	31,50	28,44	16,94
Inertes	%	0,00	0,00	0,00	0,00
Matéria Orgânica Total (combustão)	%	6,41	13,66	7,46	8,60
Matéria Orgânica Compostável	%	4,56	6,72	3,13	5,49
Matéria Orgânica resistente à compostagem	%	1,85	6,94	4,33	3,11
Carbono Total (orgânico e Mineral)	%	3,56	7,59	4,15	4,78
Carbono Orgânico	%	2,53	3,73	1,74	3,05
Resíduo Mineral Total	%	63,40	54,84	64,10	74,46
Resíduo Mineral insolúvel	%	51,97	49,47	48,48	57,88
Resíduo Mineral Solúvel	%	11,43	5,37	15,62	16,58
Nitrogênio Total	%	0,15	0,19	0,05	0,06
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) total	%	0,02	0,02	0,02	0,06
Potássio (K <sub>2</sub> O) total	%	0,05	0,06	0,10	0,06
Cálcio (Ca) total	%	0,13	0,09	0,18	0,19
Magnésio (Mg) total	%	0,06	0,07	0,09	0,08
Enxofre (S) total	%	0,01	0,02	0,03	0,03
Relação C/N (C total e N total)		24	39	82	81
Relação C/N (C orgânico e N total)		17	19	34	51

**Tabela 6: Análises do Material Orgânico a 110°C.**

Parâmetros	Unidade	Solo 09/2005	Solo + Lodo 09/05	Solo + Lodo 11/05	Solo + Lodo 01/06
pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01 M		-	-	-	-
Densidade		-	-	-	-
Umidade Perdida a 60-65°C		-	-	-	-
Umidade Perdida entre 65 e 110°C		-	-	-	-
Umidade Total	%	0,00	0,00	0,00	0,00
Inertes		-	-	-	-
Matéria Orgânica Total (combustão)	%	9,18	19,94	10,42	10,35
Matéria Orgânica Compostável	%	6,53	9,81	4,37	6,61
Matéria Orgânica resistente à compostagem	%	2,65	10,13	8,05	3,74
Carbono Total (orgânico e Mineral)	%	5,10	11,08	5,80	5,75
Carbono Orgânico	%	3,62	5,45	2,43	3,67
Resíduo Mineral Total	%	90,82	80,06	89,58	89,65
Resíduo Mineral insolúvel	%	74,44	72,22	67,75	69,68
Resíduo Mineral Solúvel	%	16,37	7,84	21,83	19,96
Nitrogênio Total	%	0,21	0,28	0,07	0,07
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) total	%	0,03	0,03	0,03	0,07
Potássio (K <sub>2</sub> O) total	%	0,07	0,09	0,14	0,07
Cálcio (Ca) total	%	0,19	0,13	0,25	0,23
Magnésio (Mg) total	%	0,09	0,10	0,13	0,10
Enxofre (S) total	%	0,01	0,03	0,04	0,04
Relação C/N (C total e N total)		24	39	82	81
Relação C/N (C orgânico e N total)		17	19	34	51





Os teores de alumínio no tecido vegetal da planta em relação aos do solo se comportaram de maneira complementar, ou seja, se o teor de alumínio estava com concentração baixo no solo, na planta ele se apresentou mais alto e vice-versa. Os demais elementos apresentaram variações ao longo do período.

Segundo Malavolta, citado por Gonçalves (2005), estas variações encontram-se dentro da faixa ideal para os teores de nitrogênio, fósforo, enxofre, ferro e manganês. No tecido vegetal, os teores de zinco e cobre apresentaram valores elevados em relação aos ideais, ao contrário do boro, cálcio, potássio e magnésio que apresentaram valores inferiores, o que caracterizam uma deficiência dos mesmos na planta.

Segundo Basso (2003), esta deficiência de cálcio, magnésio e potássio pode ser explicada pelo fato de o alumínio interferir no metabolismo da planta, diminuindo a respiração celular e alterando o transporte e uso destes elementos e de água nas plantas. Além disso, pH inferior à 5,5 também interfere na absorção de cálcio, magnésio e fósforo além de poder proporcionar uma toxidez de alumínio e manganês.

Outra explicação encontrada para a deficiência de cálcio nos eucaliptos é o fato de o alumínio e o cálcio competirem pelo mesmo sítio do carregador ativo no processo de absorção, ocorrendo a inibição competitiva entre eles.

Em relação às características microbiológicas do solo, o número de fungos e bactérias diminuiu ao ser incorporado lodo no solo. Provavelmente este material num primeiro momento se mostrou tóxico a estes microrganismos, fazendo com que ocorresse uma seleção dos mais resistentes. Ainda pode-se perceber uma possível situação de stress seja pela toxicidade do lodo ou por uma competição entre os microrganismos já existentes no solo e àqueles existentes no lodo pelo aumento da liberação de  $\text{CO}_2$  ao longo dos 8 dias de análise no momento da incorporação do mesmo (Tabelas 7 e 8).

Com o passar do tempo estes microrganismos se desenvolveram e voltaram a aumentar no solo, o que mostra a tentativa deste solo de se atingir um novo equilíbrio após a entrada de um elemento estranho no sistema. Isto fica evidenciado não somente pelo aumento do número de fungos e bactérias, mas como o da biomassa microbiana no solo, ou seja, o aumento de carbono orgânico por grama de solo.

Pode-se observar também um fato curioso, de que em certos momentos, mesmo o solo possuindo um menor número de microrganismos ele liberou menos do que em momentos que possuía mais microrganismos presentes, isso pode ser um dos motivos que explica o aumento do teor de carbono orgânico no solo, ou seja, houve uma incorporação de carbono na forma orgânica e não uma liberação de carbono na forma de  $\text{CO}_2$ .

**Tabela 7: Produção Diária de  $\text{CO}_2$ .**

Dias	SOLO	SOLO + LODO 09/05	SOLO+LODO 11/05	SOLO+LODO 12/05
1º	0,63	0,79	0,67	0,53
2º	0,95	0,79	0,45	0,16
3º	0,17	0,31	0,51	0,1
4º	0,23	0,36	0,51	0,76
5º	0,2	0,34	0,20	0,5
6º	0,33	0,42	0,19	0,13
7º	0,35	0,48	0,20	0,03
8º	0,13	0,11	0,24	0,18

**Tabela 8: Produção Diária Acumulada de  $\text{CO}_2$ .**

Dias	SOLO - 09/05	SOLO + LODO - 09/05	SOLO + LODO - 11/05	SOLO + LODO - 12/05
1º	0,63	0,79	0,67	0,53
2º	1,58	1,58	1,12	1,65
3º	1,75	1,89	1,63	3,28
4º	1,98	2,25	2,14	5,42
5º	2,18	2,59	2,34	7,76
6º	2,51	3,01	2,53	10,29
7º	2,86	3,49	2,73	13,02
9º	2,99	3,60	2,97	15,99



A Tabela 9 mostra os resultados obtidos nas análises realizadas de biomassa microbiana ao longo do experimento. A análise de biomassa microbiana nada mais é que a determinação da quantidade de carbono orgânico presente no solo, já que este carbono se encontra na forma de microrganismos.

**Tabela 9: Biomassa Microbiana.**

Parâmetros	Biomassa Microbiana (mg C g <sup>-1</sup> )
SOLO - 08/2005	0,16
SOLO + LODO - 08/2005	0,41
SOLO + LODO - 10/2005	0,30
SOLO + LODO - 11/2005	0,20
SOLO + LODO - 12/2006	0,20

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos das análises da contagem do número mais provável de fungos e bactérias.

**Tabela 10: Contagem de Fungos e Bactérias.**

Parâmetros	Bactérias (10 <sup>4</sup> )	Fungos (10 <sup>2</sup> )
SOLO - 08/2005	55,63	42,54
SOLO + LODO - 08/2005	12,36	15,89
SOLO + LODO - 11/2005	59,44	104,89
SOLO + LODO - 11/2005	39,59	226,20
SOLO + LODO - 12/2005	38,10	10,28
SOLO + LODO - 12/2005	38,30	14,72

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que os teores de alumínio, chumbo e ferro que se encontravam acima dos valores limites permitidos pela NBR 10004/2004 sofreram um decréscimo ao longo do experimento, sendo que o chumbo passou a um teor dentro do limite aceitável. Isso indica a alta capacidade do eucalipto de se desenvolver em solos ricos em alumínio, sendo um bom fitorremediador deste elemento.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pela bolsa do primeiro autor e ao financiamento da pesquisa “Tratamento de lodo de indústria têxtil e valoração energética”, dentro do Programa Nacional de Pós-Graduação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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, n.58, p.59-72, 2000.
2. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. Washington, 1998.
3. ASSELBORN, V. M; DOMITROVIC, Y. Z. Aplicación de bioensayos algales uniespecificos para evaluar los efectos de un efluente têxtil y la calidad Del água de uma laguna receptora (Corrientes, Argentina). In: Espíndula, E. L. G. et al. (Ed.). Ecotoxicologia: perspectivas para o século XXI. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2002.
4. BAPTISTA, I. E. et al. Avaliação da toxicidade aguda de efluentes de uma indústria têxtil utilizando *Daphnia magna*, *Poecilia reticulata* e *Vibrio fischeri* como bioindicadores. In: Espíndula, E. L. G. et al. (Ed.). Ecotoxicologia: perspectivas para o século XXI. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2002.
5. BETTIOL, W. Aspectos a serem estudados em um projeto sobre impacto ambiental do lodo de esgoto na agricultura. Reciclagem do lixo urbano para fins industriais e agrícolas, 217p. Anais. Embrapa – CPATU. Documentos,30. Belém - PA, 2000.



6. COBBETT, C.; GOLDSBROUGH, P. Phytocyclatins and Metallothioneins: Roles in Heavy Metal Detoxification and Homeostasis. *Annual Review of Plant Biology*. v.53, pJ59-182. 2002.
7. CONCHOM, J.A.; MATUSAKI, L.F.; CONCHOM, E.A.; CONCHOM, E. Lodo biológico têxtil: um método de disposição econômico e racional. *Química Têxtil*, v.48, p.74-77, 1997.
8. KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos. Piracicaba; Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985, 492 p.
9. MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo; Produquímica, 1994, 153p.
10. MULGREW, A; WILLIAMS, P. (2000). Biomonitoring of Air Quality Using Plants. *Air Hygiene Report*. Nº 10. Disponível em : <http://www.umweltbundesamt.de/whocc/AHR10/content2.htm>.
11. RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.; Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agronômico, Campinas, 285p, 2001.
12. SALT, D.E.; SMITH, R.D.; RASKIN, L. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology. Plant Molecular Biology*. v.49. p.643-668. 1998.
13. SILVA, E.P.; MOTA, S.; AQUINO, B.F. Potencial de utilização do lodo de esgoto de indústria têxtil como fertilizante agrícola. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.8, n.1, p.69-76, 2003.
14. SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de mjlho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38., n10, p.1187-1195, 2003.
15. SINGH, O.V.; LABANA, S.; PANDEY, G.; BUDHIRAJA, R.; JAIN, R.K. Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*. v.63. n.2, p. 128-135. 2003.
16. VANCE, E. D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19:703-707, 1987.