

Decomposição de resíduo carbonífero e de curtume no solo avaliada pela atividade microbiana e modificações nos atributos químicos do solo pela aplicação dos resíduos¹

Cláudio Henrique Kray², Marino José Tedesco³, Carlos Alberto Bissani³, Leandro Bortolon⁴,

Elisandra Solange O. Bortolon⁴, Robson Andreazza⁵, Clesio Gianello³

Resumo - Os resíduos gerados na exploração de carvão mineral e no processamento de peles são produtos potencialmente poluentes em várias regiões do Brasil, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, pelo maior número de curtumes localizados nestes estados. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a decomposição de resíduo carbonífero e de curtume no solo avaliada pela liberação de C-CO₂. O experimento foi conduzido em frascos respirométricos em um ARGISSOLO Vermelho Distrófico típico. Foram aplicados oito tratamentos, sendo testados o lodo de curtume e a serragem cromada de curtume e resíduo carbonífero. O lodo de curtume foi eficiente para aumentar o pH do solo e para suprir nitrogênio no sistema. A adição de cromo mineral (Cr(III)) com lodo de curtume afetou a atividade microbiana avaliada pela liberação de C-CO₂. O lodo de curtume pode ser utilizado para a neutralização da acidez do solo gerada pelo descarte de resíduo carbonífero contendo alto teor de enxofre reduzido (pirita). A serragem cromada pode ser descartada no solo, necessitando, entretanto, calagem e adubação com nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades adequadas para o desenvolvimento das culturas. O resíduo carbonífero apresenta grande potencial de acidificação do solo e baixa taxa de decomposição.

Palavras-chave: Cromo. Lodo de curtume. Metal pesado. Serragem cromada.

Tannery and coal mining soil decomposition evaluated by microbial activity

Abstract - Tannery residues and coal mining refuse are important polluting sources in Brazil, mainly in the southern Rio Grande do Sul and Santa Catarina states. In order to study the tannery and coal mining soil decomposition evaluated by microbial activity was carried out an experiment in controlled conditions using Acrisol under grassland. Eight treatments were applied containing tannery sludge, leather shavings and coal refuse. Tannery sludge was efficient to increase the pH and nitrogen supply to system. Mineral chromium (Cr (III)) applied with tannery sludge affected the microbial activity evaluated by C-CO₂ release. The tannery sludge can be used to soil acidity amelioration caused by coal refuse with high reduced sulfur content (pyrite). The leather shavings can be disposed in soil; however, it is necessary a lime application, and nitrogen, phosphorus and potassium amendment for crop production. Coal refuse has a soil acidification potential and low decomposition rate.

Key words: Tannery sludge. Leather shavings. Heavy metals. Nutrients chromium.

¹ Manuscrito submetido em 14/12/2012 e aceito para publicação em 19/04/2013.

² Eng. Agr., Dr., Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RS Campus Restinga - Porto Alegre. Cx Postal 772. E-mail: claudio.kray@restinga.ifrs.edu.br

³ Eng. Agr., Dr., Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, - UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS).

⁴ Eng. Agr., Dr., Pesquisador EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa em Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas, Palmas, TO, Brasil.

⁵ Eng. Agr., Dr., Professor do Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas (UFPel). R. Almirante Barroso 1734, CEP 96010-280 Pelotas (RS). *E-mail: robsonandreazza@yahoo.com.br

Introdução

A indústria coureiro-calçadista e a mineração do carvão são atividades importantes na economia do Estado do Rio Grande do Sul. Entretanto, essas geram quantidades consideráveis de resíduos. A aplicação de resíduos em solo agrícola vem sendo utilizada de forma crescente em nível mundial, sendo uma alternativa ambiental e economicamente viável. Por suas características químicas e biológicas, o solo propicia as condições necessárias para a biodegradação de resíduos orgânicos e a retenção dos metais pesados e outros poluentes. Além disso, o material orgânico pode disponibilizar nutrientes, como o nitrogênio, o fósforo e o potássio para as plantas e os microrganismos, e melhorar atributos químicos e físicos do solo pela adição de matéria orgânica (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Entretanto, é necessário o monitoramento de possíveis efeitos negativos decorrentes da aplicação destes resíduos ao solo. Dentre esses, destaca-se a contaminação por metais pesados, a redução na atividade microbiana e a contaminação das águas subterrâneas por nitrato, proveniente da mineralização dos compostos orgânicos dos resíduos.

O lodo de curtume pode ser utilizado para a correção do pH de solos ácidos e como fonte de nitrogênio para as culturas. Vários estudos realizados em vasos e a campo demonstraram a viabilidade do uso do lodo para as culturas do milho, soja, sorgo, acácia negra, eucalipto e rabanete (TEIXEIRA, 1981; STOMBERG; HEMPHILL e VOLK, 1984; SELBACH et al., 1991; FIGLIOLIA et al., 1992; FISCH, 1992 ; FISCH, 1994 ; FERREIRA et al., 2003; CAVALLET; SELBACH e GIANELLO, 2007; GIANELLO et al., 2011).

Os processos de extração, beneficiamento e utilização do carvão mineral têm elevado potencial poluidor, pelo grande volume de resíduos gerados. O potencial poluidor do rejeito carbonífero está associado à oxidação da pirita, que leva à acidificação do solo. Na recuperação das áreas mineradas o estabelecimento da vegetação é dificultado pela acidez do solo e baixo nível de fertilidade do sistema. Estudos têm avaliado o potencial de lodos de esgoto como corretivo da acidez de resíduos carboníferos. Ferreira et al. (2003), em experimento de campo com aplicação de 106 t ha⁻¹ de resíduo Pesq. Agrop. Gaúcha, v. 19, ns.1/2, p. 7-15, 2013.

carbonífero no solo, e a mesma dose mais 21,25 t ha⁻¹ de lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) de curtume, obtiveram valores de pH do solo e rendimentos de grãos de milho e soja maiores no tratamento com lodo, sendo esses valores semelhantes aos determinados no tratamento com calcário e adubação mineral, sem aplicação de resíduo carbonífero. Portanto, o descarte de resíduos no solo deve ser feito considerando a taxa de degradação e a composição química. Nessa última, principalmente quanto ao teor de metais pesados, o poder fertilizante e a capacidade de neutralização da acidez têm grande importância para os estudos da taxa de decomposição desses resíduos no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a taxa de degradação dos resíduos de curtume e carbonífero no solo e as modificações nos atributos químicos do solo pela aplicação dos mesmos.

Material e Métodos

Primeiramente, realizou-se um estudo em condições controladas, no laboratório de análises de solos da UFRGS, para avaliar a taxa de decomposição dos resíduos no solo. O experimento foi conduzido em frascos respirométricos em um ARGISSOLO Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006), coletado em campo nativo. Os atributos físico-químicos do solo (Tabela 1) foram determinados conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995), utilizando-se amostras secas (a 45°C) trituradas em cadinho de porcelana (<2,0 mm). O resíduo carbonífero foi obtido da COPELMI (empresa mineradora de carvão), localizada no município de Butiá (RS). O lodo de efluentes e a serragem cromada de curtume foram obtidos na Unidade de Tratamento de Resíduos (UTRESA), de Estância Velha (RS). As características químicas dos resíduos são mostradas na Tabela 2. As determinações foram efetuadas conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Foram usadas 200 g de solo (base seca) para cada unidade experimental. Os tratamentos utilizados foram: T1- Controle; T2- NPK mais calcário para atingir pH 6,0; T3- Lodo de curtume (LC) em quantidade adequada para atingir pH 6,0 mais PK; T4- Duas vezes a quantidade de lodo de curtume utilizada no tratamento 3 mais PK; T5- Resíduo carbonífero

(RC) na quantidade de 56 t ha⁻¹ mais NPK; T6- Resíduo carbonífero (RC) na quantidade de 56 t ha⁻¹ mais lodo de curtume na quantidade utilizada no tratamento 3 mais PK; T7- Serragem cromada (SC) na quantidade de 30 t ha⁻¹ mais NPK e calcário; T8- Serragem cromada (SC) na quantidade de 30 t ha⁻¹ mais PK e calcário; e T9- Cromo mineral (500 kg de Cr³⁺ ha⁻¹) mais lodo de curtume na quantidade utilizada no tratamento 3, mais PK.

A adubação mineral, foi feita pela aplicação de 160, 120 e 50 kg ha⁻¹ de N (uréia), P₂O₅ (superfosfato triplo) e K₂O (KCl), respectivamente, conforme a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFSRS/SC, 2004). A calagem foi feita em dose adequada para atingir pH 6,0 (mistura de CaCO₃ + MgCO₃ (3:1)) com base nos teores de alumínio trocável e de matéria orgânica do solo, na quantidade de 6,3t ha⁻¹ de calcário (PRNT 100%). O cromo mineral (Cr_{min}) foi adicionado na forma de sulfato de cromo (CrIII) na quantidade de 500 kg ha⁻¹ de Cr. O lodo de curtume foi adicionado em quantidade equivalente à dose de calcário para atingir pH 6,0. A serragem cromada, adicionada na quantidade de 30 t ha⁻¹ (com 2,2% de Cr – em peso seco a 75%) supriu 660 kg de Cr ha⁻¹. O lodo de curtume (com 31,5% de valor de neutralização, expresso em peso seco a 65°C) foi aplicado na quantidade de 22,4 t ha⁻¹ (base seca), equivalente a 6,3 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 100%). O resíduo carbonífero foi aplicado na quantidade de 56 t ha⁻¹, visando à neutralização da alcalinidade do lodo de curtume.

Após a homogeneização, o solo com os tratamentos aplicados foi acondicionado em frascos respirométricos de vidro (1l) adicionando-se a seguir água destilada até atingir 80% da capacidade máxima de retenção de água do solo, sendo mantida a mesma umidade até o fim do experimento, pela avaliação da variação da massa. Foi colocado sobre a superfície do solo de cada frasco de incubação um suporte de ferro contendo um copo plástico (50 ml) contendo 20 mL de NaOH 0,5 mol l⁻¹, mantidos hermeticamente fechado. Foram mantidos três frascos respirométricos sem solo, representando a prova em branco.

A determinação das quantidades de CO₂ liberado pela atividade microbiana, em função dos tratamentos, foi realizada durante 88 dias, num total de 15 avaliações. A cada avaliação, o

frasco foi aberto e adicionado 1,0 mL de BaCl₂ (25%) e 3 gotas de fenolftaleína (5%) no copo plástico de cada unidade experimental. Posteriormente, foi feita a titulação do excesso de NaOH com solução de 0,5 M HCl (STOTZKY, 1965). Ao final das titulações em cada período de avaliação, um novo copo plástico contendo 0,5 M NaOH foi colocado dentro dos frascos respirométricos. A liberação de CO₂ (mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo) pela atividade microbiana do solo pela aplicação dos resíduos foi calculada pela fórmula: X.

O termos da equação são: B é o volume de HCl necessário para titular o excedente de NaOH da prova em branco; V é o volume de HCl necessário para titular o excedente de NaOH da amostra; M é a molaridade do HCl (0,5 M); E é o peso equivalente grama do carbono (valor = 6).

A quantidade de CO₂ liberado pela incorporação do substrato orgânico foi obtida pela diferença entre o CO₂ determinado no solo em que foi adicionado resíduo, menos o determinado em um tratamento com solo sem adição de resíduo (controle).

No octagésimo oitavo dia foi retirada uma amostra de solo de cada unidade experimental e determinada, na amostra úmida, o pH do solo e os teores de nitrogênio inorgânico (NH₄⁺ e NO₃⁻), conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

A análise dos dados foi feita pela análise da variância individual e conjunta dos dados, o teste de significância foi feito pelo teste F. Quando significativo, foi feita a comparação múltipla de médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

As quantidades acumuladas de C-CO₂ evoluídos após 88 dias de incubação com diferentes tipos de resíduos são mostradas na Figura 1. A adição de resíduos no solo alterou a atividade microbiana. O aumento ou a redução da decomposição da matéria orgânica do solo depende da fração orgânica do resíduo (HERNANDEZ et al., 1988; ZIBILSKE, 1987). O efeito sobre o carbono nativo do solo é chamado de “efeito priming”, que trata da diminuição do C do solo logo após uma entrada de material orgânico na área (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Estudos indicam que, após 32 dias de incubação, entre 63 a 73% do carbono total evoluído no ensaio já tinha sido liberado, exceto no tratamento controle que foi de 33%, confirmando que as maiores taxas de respiração dos microorganismos do solo com adição de materiais orgânicos ocorrem nos primeiros dias (SEGATTO, 2001). Os resultados validam os estudos de curta duração, os quais fornecem informações úteis a respeito da decomposição de resíduos no solo.

Após o período inicial, as curvas de respirometria microbiana reduziram sua atividade, mas os valores determinados nos tratamentos com adubação mineral ou adição de resíduos orgânicos foram sempre superiores ao tratamento controle (Figura 1).

As quantidades de C-CO₂ liberadas aos 13, 32, 60 e 88 dias de incubação são dadas na Tabela 3. A menor quantidade de C-CO₂ foi determinada no tratamento controle, devido somente à mineralização da matéria orgânica do solo. A mineralização foi potencializada no tratamento com adubação mineral, pelo aumento do pH (Tabela 4) e suprimento de nutrientes.

A decomposição do lodo de curtume no solo pode ser avaliada pelo acréscimo de liberação de C-CO₂, que aumentou com a quantidade adicionada (T3 e T4). No tratamento com a adição de 22,4 t ha⁻¹ de lodo de curtume (T3) foi determinada uma volatilização total de 1.292 mg de C-CO₂ kg⁻¹ após 88 dias de incubação (Tabela 3). Subtraindo-se deste valor a quantidade determinada no tratamento com adubação mineral (T2), calcula-se que a mineralização do lodo foi de 23,3% em 88 dias. Castilhos et al. (2002) determinaram uma mineralização de 72,9% para o lodo de curtume em 366 dias (média de três solos), em experimento conduzido em condições semelhantes. Mesmo com a introdução de micro-organismos decompositores adaptados (BASU; BHATTACHARYA e PAUL, 1997), esses valores podem ser superestimados devido à presença de condições favoráveis à decomposição em teste de laboratório, como suprimento de nitrogênio, temperatura e umidade adequadas, diferentemente do que ocorre a campo.

A liberação de C-CO₂ no tratamento com adição de serragem cromada (T8) foi inferior à determinada no tratamento com adubação mineral (T2) até o período de 55 dias do início da incubação. Após 88 dias de incubação, Pesq. Agrop. Gaúcha, v. 19, ns.1/2, p. 7-15, 2013.

determinou-se uma decomposição de somente 0,83% do carbono adicionado. Castilhos (1998) determinou, entretanto, uma liberação de 15% do carbono adicionado pela serragem cromada num período de 366 dias, com adição de nitrogênio (média de três solos). A dificuldade de decomposição da serragem cromada pode ser justificada pelo processo de curtimento do couro que torna este material pouco suscetível ao ataque microbiano. A aplicação de nitrogênio com a serragem cromada (T7) favoreceu inicialmente a decomposição deste resíduo, possivelmente em função da degradação do carbono nativo do solo. Após o período de 38 dias, entretanto, a taxa de decomposição foi menor do que no tratamento sem nitrogênio (T8).

A adição de resíduo carbonífero não afetou a liberação de C-CO₂ (T5), que foi semelhante à determinada no tratamento com adubação mineral, embora tenha sido observado um decréscimo do pH no final do experimento (Tabela 4). A adição de lodo de curtume com resíduo carbonífero, entretanto, estimulou a liberação de C-CO₂, que foi significativamente maior do que a determinada no tratamento com adição de somente a mesma quantidade de lodo (Figura 1).

A adição de 500 kg ha⁻¹ de Cr(III) na forma mineral (T9) reduziu a decomposição do lodo de curtume em 29% no período de 88 dias (Figura 1). Entretanto, a mesma quantidade total de cromo foi adicionada no tratamento com a aplicação de duas vezes a dose recomendada de lodo (T4), obtendo-se neste tratamento a maior liberação de C-CO₂ do experimento. Possivelmente a maior concentração de cromo afetou a atividade microbiana no tratamento com adição de cromo mineral. Yeates; Orchard e Speir (1994) também observaram redução da atividade microbiana com a adição de quantidades maiores que 400 mg kg⁻¹ de Cr(III) no solo.

A determinação do teor de nitrogênio mineral (NH₄⁺ e NO₃⁻ + NO₂⁻) foi feita ao final do experimento (Tabela 4). A mineralização é o processo de transformação do nitrogênio orgânico para formas inorgânicas como o NH₄⁺ e NO₃⁻, por organismos heterotróficos do solo. A taxa de mineralização varia em função da relação C/N, pH, temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes. A imobilização é a transformação do nitrogênio inorgânico para formas orgânicas. A mineralização e a imobilização do nitrogênio

ocorrem simultaneamente no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

No final do período experimental, os maiores teores de nitrogênio mineral foram determinados nos tratamentos com adubação nitrogenada (T2, T5 e T7) (Tabela 4). Embora os resíduos de curtume tenham apresentado relações C/N de 6,3 e 2,7 para o lodo e a serragem cromada, respectivamente, as quantidades de nitrogênio mineral determinadas no final do experimento foram menores, supostamente devido ao processo de curtimento do couro que torna esse material muito recalcitrante pela presença do cromo.

No tratamento com adição de lodo de curtume (T3) foi determinada a quantidade de 318 kg de N mineral ha⁻¹ aos 88 dias (proveniente do solo e da mineralização do resíduo), superior à adicionada pelo adubo mineral. Mesmo no tratamento com adição de serragem cromada (T8) a disponibilidade total de N (do solo e mineralizado) seria de 200 kg ha⁻¹ aos 88 dias, possivelmente devido ao efeito priming em função da adição de corretivos e fertilizantes e revolvimento do solo para incorporar os resíduos.

A adição de cromo mineral (T9) reduziu em 15% a liberação de nitrogênio (Tabela 4), pelo efeito negativo sobre a atividade microbiana, conforme foi constatado pela volatilização de C-CO₂. As condições da incubação favoreceram a nitrificação tanto do nitrogênio adicionado pela uréia como do mineralizado dos resíduos. A fração média de 98,3% do nitrogênio mineral do solo foi determinada na forma de NO₃⁻ + NO₂⁻ (Tabela 4).

Os efeitos da adição de calcário e de lodo de curtume sobre a acidez do solo podem ser observados na Tabela 4. A aplicação de calcário (T2) aumentou o pH do solo de 4,5 para 6,3, conforme o esperado. A adição de lodo de curtume na quantidade recomendada (T3) elevou o pH do solo para 7,1. A aplicação de duas vezes tal quantidade mostrou um aumento excessivo do pH, o que deve ser evitado, podendo provocar deficiência de fósforo e de micronutrientes para as plantas. A elevação do pH do solo pela adição de resíduos orgânicos é frequentemente observada. Alguns autores (CASTILHOS et al. 2002; KRAY et al., 2008) atribuem este efeito à presença de compostos de Ca e de Mg no material e da presença de NaOH usada no processo de curtimento.

O pH do solo nos tratamentos com adição de resíduo carbonífero foi inferior ao determinado Pesq. Agrop. Gaúcha, v. 19, ns.1/2, p. 7-15, 2013.

no tratamento com adubação mineral +calagem. Este decréscimo pode ser devido à oxidação da pirita contida no resíduo, à semelhança do que foi observado por Kray et al. (2008) em experimento de campo. A velocidade de oxidação da pirita durante a incubação foi maior do que a observada a campo por Kray et al. (2008), devido à menor granulometria do material e condições de aeração, temperatura e umidade mais favoráveis no experimento em laboratório.

Conclusões

O lodo de curtume foi eficiente para aumentar o pH do solo e para suprir nitrogênio para o sistema. A adição de Cr(III) com lodo de curtume afetou a atividade microbiana do solo. O lodo de curtume pode ser utilizado para a neutralização da acidez do solo gerada pelo descarte de resíduo carbonífero contendo alto teor de enxofre reduzido (pirita).

A serragem cromada pode ser descartada no solo, necessitando, entretanto, calagem e adubação com nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades adequadas para o desenvolvimento das culturas.

O resíduo carbonífero apresenta grande potencial de acidificação do solo e baixa taxa de decomposição.

Referências

BASU, M.; BHATTACHARYA, S.; PAUL, A.K. Isolation and characterization of chromium-resistant bacteria from tannery effluents. **Bulletin of Environmental Contamination Toxicology**, New York, v. 58, p. 535-542, 1997.

CASTILHOS, D. D. **Alterações químicas e biológicas devidas à adições de curtume e cromo hexavalente ao solo**. 1998. 160 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

_____.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1083-1092, 2002.

- CAVALLET, L. E.; SELBACH, P. A.; GIANELLO, C. Concentração de cromo no sistema solo-planta-percolado em função da aplicação de resíduos de curtume em um argissolo de estância velha (RS). **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 8, p. 87-93, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FERREIRA, A. S. et al. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1083-1092, 2003.
- FIGLIOLIA, A. et al. Potential chromium bio-availability by *Lactuca sativa* grown on two soils amended with tannery leather residues. **Fresenius Environmental Bulletin**, Freising, v. 1, p. 406-410, 1992.
- FISCH, J. Lodo cromado: projeto demonstra viabilidade de utilização em solo agrícola. **Setor Couro**, São Leopoldo, v. 8, p. 6-15, 1992.
- _____. Utilização de lodo de curtimento ao cromo em solo agrícola. **Revista do Couro**, Estância Velha, v. 20, p. 66-87, 1994.
- GIANELLO, C. et al. Viabilidade do uso de resíduos da agroindústria coureiro-calçadista no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 242-245, 2011.
- HERNANDEZ, T. et al. Transformation of carbon and nitrogen in a calciorthid soil amended with a range of organic residues. **Plant and Soil**, Crawley, v. 105, p. 205-211, 1988.
- KRAY, C. H. et al. Tannery and coal mining residues disposal on soil. **Revista Brasileira de Pesq. Agrop. Gaúcha**, v. 19, ns.1/2, p. 7-15, 2013.
- Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2877-2882, 2008.
- MOREIRA, F. M. S. ; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- SEGATTO, M. P. **Efeitos da aplicação de resíduos industriais no solo e nas plantas**. 2001. 151f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- SELBACH, P. A. et al. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. **Revista do Couro**, Estância Velha, v. 17, p. 51-62, 1991.
- STOMBERG, A. L.; HEMPHILL, D. D.; VOLK, V.V. Yield and elemental concentration of sweet corn grown on tannery waste-amended soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.13, p.162-166, 1984.
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 1551-1572.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- TEIXEIRA, J. A. O. S. **Descarte de resíduo de curtume no solo**. Porto Alegre, 1981. 81f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.
- YEATES, G. W.; ORCHARD, V. A.; SPEIR, T. W. Impact of pasture contamination by copper, chromium, arsenic timber preservative on soil biological activity. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 18, p. 200-208, 1994.
- ZIBILSKA, L. M. Dynamics of nitrogen and carbon in soil during peppermill sludge decomposition. **Soil Science**, Philadelphia, 143, n. 1, p. 26-33, 1987.

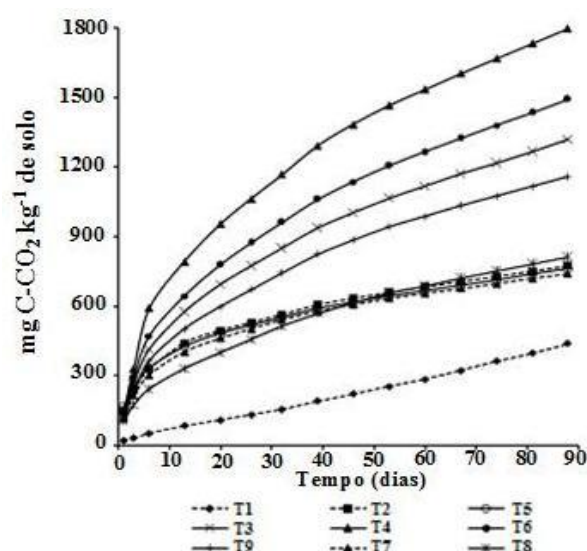


Figura 1 - Liberação acumulada de carbono (C-CO₂) durante 8 dias de incubação com a aplicação de diferentes resíduos: T1- Controle; T2- NPK mais calcário para atingir pH 6,0; T3- Lodo de curtume (LC) em quantidade adequada para atingir pH 6,0 mais PK; T4- Duas vezes a quantidade de LC utilizada no T3 mais PK; T5- Resíduo carbonífero (RC) na quantidade de 56 t ha⁻¹ mais NPK; T6- RC na quantidade de 56 t ha⁻¹ mais LC na quantidade utilizada no T3 mais PK; T7- Serragem cromada (SC) na quantidade de 30 t ha⁻¹ mais NPK e calcário; T8- SC na quantidade de 30 t ha⁻¹ mais PK e calcário; e T9- 500 kg ha⁻¹ de Cr(III) mais LC na quantidade utilizada no T3, mais PK.

Tabela 1 - Caracterização física e química do Argissolo Vermelho Arênico distrófico do local do experimento.

Atributos*	Profundidade	
	0 - 20 cm	
Argila (g kg ⁻¹)	250	
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	25,0	
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	1,12	
C/N	13,1	
pH em água	4,9	
Índice SMP	5,9	
P disponível (mg dm ⁻³)	3	
K disponível (mg dm ⁻³)	153	
Al trocável (mmol _c dm ⁻³)	6,0	
Ca trocável (mmol _c dm ⁻³)	16,8	
Mg trocável (mmol _c dm ⁻³)	12,5	
CTC (mmol _c dm ⁻³)	53	
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	18,5	
% de saturação da CTC:		
por Bases	63	
por Al	11	
S extraível (mg dm ⁻³)	8,9	
B extraível (mg dm ⁻³)	0,5	
Mn trocável (mg dm ⁻³)	26	

*Determinações efetuadas conforme metodologia descrita por Tedesco et al., (1995).

Tabela 2 - Características físico-químicas dos resíduos utilizados na aplicação e na reaplicação dos tratamentos.

Características*	Lodo de curtume	Serragem cromada	Resíduo carbonífero
Teor de sólidos (g kg ⁻¹)	300	480	925
pH em água	7,7	3,3	7,0
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	203,8	326,0	183,8
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	32,5	119,7	2,3
Fósforo total (g kg ⁻¹)	2,5	0,4	0,3
Potássio total (g kg ⁻¹)	0,12	0,12	0,06
Cálcio total (g kg ⁻¹)	22,0	18,0	19,0
Magnésio total (g kg ⁻¹)	3,50	0,19	0,68
Enxofre total (g kg ⁻¹)	15,0	15,9	85,0
Cobre total (mg kg ⁻¹)	34	3	25
Zinco total (mg kg ⁻¹)	176	2	126
Manganês total (mg kg ⁻¹)	128	<3	194
Sódio total (g kg ⁻¹)	8,1	4,3	ND
Cromo total (g kg ⁻¹)	22,2	24,0	0,3
Cádmio total (mg kg ⁻¹)	0,14	<0,01	12,85
Níquel total (mg kg ⁻¹)	14,50	3,15	19,20
Poder de neutralização (%)	31,5	ND	ND

*Determinações realizadas no material seco a 75° C, à exceção do pH. ND = não determinado.

Tabela 3 - Liberação acumulada de carbono (mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo) após 88 dias de incubação com diferentes resíduos: T1- Controle; T2- NPK mais calcário para atingir pH 6,0; T3- Lodo de curtume (LC) em quantidade adequada para atingir pH 6,0 mais PK; T4- Duas vezes a quantidade de LC utilizada no T3 mais PK; T5- Resíduo carbonífero (RC) na quantidade de 56 t ha⁻¹ mais NPK; T6- RC na quantidade de 56 t ha⁻¹ mais LC na quantidade utilizada no T3 mais PK; T7- Serragem cromada (SC) na quantidade de 30 t ha⁻¹ mais NPK e calcário; T8- SC na quantidade de 30 t ha⁻¹ mais PK e calcário; e T9- 500 kg ha⁻¹ de Cr(III) mais LC na quantidade utilizada no T3, mais PK.

Tratamento	13 dias	32 dias	60 dias	88 dias
T1	81 hD*	151 hC	281 hB	435 hA
T2	425 eD	548 eC	667 efB	759 fA
T3	551 cD	826 cC	1091 cB	1292 cA
T4	707 aD	1083 aC	1449 aB	1713 aA
T5	414 eD	538 efC	652 fgB	748 fA
T6	613 bD	932 bC	1234 bB	1462 bA
T7	388 fD	527 fC	639 gB	725 gA
T8	319 gD	504 gC	676 eB	801 eA
T9	480 dD	722 dC	965 dB	1137 dA

*Médias seguidas de mesma letra minúscula e maiúscula não diferem entre tratamentos e épocas, respectivamente, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 4 - Teores de NH_4^+ e NO_3^- e pH em água do solo após 88 dias de incubação com diferentes resíduos: T1- Controle; T2- NPK mais calcário para atingir pH 6,0; T3- Lodo de curtume (LC) em quantidade adequada para atingir pH 6,0 mais PK; T4- Duas vezes a quantidade de LC utilizada no T3 mais PK; T5- Resíduo carbonífero (RC) na quantidade de 56 t ha^{-1} mais NPK; T6- RC na quantidade de 56 t ha^{-1} mais LC na quantidade utilizada no T3 mais PK; T7- Serragem cromada (SC) na quantidade de 30 t ha^{-1} mais NPK e calcário; T8- SC na quantidade de 30 t ha^{-1} mais PK e calcário; e T9- 500 kg ha^{-1} de Cr(III) mais LC na quantidade utilizada no T3, mais PK.

Tratamentos	$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$	NH_4^+	NO_3^-	pH
	----- mg kg^{-1} -----			--- 1:1 ---
T1	66,9 h*	8,4 a	58,5 h	4,5 h
T2	271,8 a	0,8 c	271,0 a	6,3 e
T3	158,8 e	1,5 c	157,4 e	7,1 c
T4	211,0 c	2,1 bc	208,8 c	7,8 a
T5	254,8 b	6,2 ab	248,6 b	4,8 g
T6	177,7 d	1,2 c	176,4 d	7,5 b
T7	269,4 a	2,0 bc	267,4 a	6,0 f
T8	99,2 g	1,1 c	98,1 g	6,7 d
T9	142,5 f	3,9 abc	138,6 f	6,8 d

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).