

ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLO SUPRIDO COM LODO DE CURTUME E CROMO HEXAVALENTE

CASTILHOS, Danilo D.¹, VIDOR, Caio², CASTILHOS, Rosa Maria V.³

(1,3) UFPel/FAEM/Departamento de Solos, Campus Universitário, Caixa Postal 354, CEP 96010-970

(2) UFRGS/Faculdade de Agronomia/Departamento de Solos, Caixa Postal 776, CEP 90001-970

(Recebido para publicação em 17/11/99)

RESUMO

Analisou-se, em laboratório, as alterações biológicas no solo decorrentes da aplicação de lodo de curtume e de cromo hexavalente. Utilizaram-se amostras de 50g de um Argissolo, acondicionadas em recipientes plásticos e incubadas com calcário (pH 6,0), 500mg Cr³⁺ kg⁻¹ na forma de lodo de curtume, 20 mg Cr⁶⁺ kg⁻¹, 100Mg esterco bovino ha⁻¹ e 40mg Mn²⁺ kg⁻¹ durante 42 dias. O lodo de curtume aumentou a atividade microbiana e as populações de bactérias, actinomicetos e fungos. O efeito negativo da aplicação de Cr⁶⁺ sobre as populações analisadas e atividade microbiana diminuiu com o tempo e com a aplicação de carbono orgânico (esterco bovino), provavelmente devido à sua redução à forma Cr³⁺, de menor toxicidade.

Palavras-chave: lodo de curtume, Cr³⁺, Cr⁶⁺, microrganismos, CO₂.

ABSTRACT:

MICROBIAL ACTIVITY IN SOIL AFFECTED BY TANNERY SLUDGE AND Cr⁶⁺ ADDITIONS. A laboratory experiment was carried out in order to evaluate soil biological changes due tannery sludge and the hexavalent chromium application. An Hapludult soil was placed in plastic bags (50g) and incubated with lime (pH6,0), 500mg Cr³⁺ kg⁻¹ as tannery sludge, 20mg Cr⁶⁺ kg⁻¹, 100Mg cattle manure ha⁻¹ and 40mg Mn²⁺ kg⁻¹ during 42 days. The tannery sludge treatment increased microbial activity and bacterial, actinomycetes and fungus populations. The negative effects on microbial populations and activity due Cr⁶⁺ application decreased when Cr⁶⁺ was reduced to Cr³⁺ by time and cattle manure treatment.

Key words: tannery sludge, Cr³⁺, Cr⁶⁺, microorganisms, CO₂.

INTRODUÇÃO

A indústria curtumeira do Rio Grande do Sul possui grande importância econômica, sendo entretanto geradora de uma grande quantidade de resíduos. A atual disposição desses materiais em depósitos no solo constitui uma prática de alto risco, devido ao acúmulo e concentração de material potencialmente tóxico, principalmente o cromo.

Nos resíduos de curtume o cromo apresenta-se na forma trivalente (Cr³⁺), sendo neste estado químico essencial como nutriente para a nutrição humana (MERTZ, 1969). No solo, o Cr³⁺ é a forma mais estável, apresentando baixa solubilidade e mobilidade com o aumento do pH, devido a formação de Cr(OH)₃ ou mesmo Cr(OH)₄⁻. Apesar dos resíduos de curtume, a exemplo do lodo, não possuírem o cromo na forma oxidada, o seu acúmulo constante, associado à determinadas condições de solo, como a presença de manganês em formas oxidadas (Mn³⁺ e Mn⁴⁺), baixos teores de carbono orgânico e boa aeração podem promover a sua oxidação para formas hexavalentes (Cr⁶⁺) (MILACIC e STUPAR, 1995), de alta solubilidade e mobilidade, caracteristicamente tóxicas e mutagênicas para os animais superiores, plantas e microrganismos.

O cromo, na forma trivalente, é requerido por um limitado grupo de microrganismos em alguns processos metabólicos específicos. As principais funções são ligadas ao metabolismo da glicose e ativação enzimática (MERTZ, 1969). Por outro lado, os efeitos tóxicos e mutagênicos de cromatos (Cr⁶⁺) em microrganismos foram constatados por ROSS *et al.* (1981) observando que a suplementação de 10-12mg de Cr⁶⁺ L⁻¹ foi inibitória para bactérias de solo em meio líquido, enquanto a mesma dose, na forma de Cr³⁺, não afetou o crescimento. Esses autores afirmam que bactérias Gram negativas são mais afetadas que as Gram positivas em níveis baixos de Cr⁶⁺ (aproximadamente 1 mg L⁻¹), em cultura aquosa. OGAWA *et al.* (1989), testando efeitos de compostos de cromo sobre o crescimento de *Bacillus subtilis*, constataram que o uso de Cr⁶⁺ (K₂Cr₂O₇) provocou o decréscimo da divisão celular, o aumento do tempo de geração e a inibição da síntese do DNA devido à inativação da enzima DNA polimerase. Contrário a isso, o uso de CrCl₃, na dose de 8mg Cr³⁺ L⁻¹, contribuiu para a estabilização das fitas de DNA, não afetando a sua síntese ou a divisão celular.

A taxa de respiração basal da biomassa microbiana (liberação de CO₂) tem sido utilizada como indicador dos efeitos de metais pesados sobre a microbiota do solo. Nesse aspecto efeitos positivos da aplicação de lodo de curtume foram observados por FORTES *et al.* (1991) com doses que incorporaram até 240mg Cr³⁺ kg⁻¹ e negativos por ZIBILSKE & WAGNER (1982) e DODSON *et al.* (1997) com incorporações ao solo de até 500mg Cr³⁺ kg⁻¹.

Com base no exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação de lodo de curtume e cromo hexavalente sobre a respiração basal (liberação de CO₂) e população de bactérias fungos e actinomicetos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em bancada de laboratório utilizando-se a camada superficial (0-20cm) de um solo Argissolo (STRECK *et al.*, 1999) pertencente à unidade de mapeamento Camaquã (Brasil, 1973) apresentando: argila=300 g kg⁻¹; pH (H₂O)= 5,0; matéria orgânica=24g kg⁻¹; H+Al=3,1cmol_c dm⁻³; CTC=4,4cmol_c dm⁻³ e Mn²⁺=7,0mg dm⁻³.

O solo foi destorroado, seco ao ar, peneirado (<2mm) e dividido em duas porções, sendo o pH de uma corrigido para 6,0 por incubação com uma mistura de CaCO₃+MgCO₃ (proporção 2:1) aplicada na dose correspondente a 2,0Mg ha⁻¹.

Foram estudados os seguintes tratamentos em 4 repetições: T1) solo com pH original + lodo de curtume; T2) solo com pH corrigido + lodo de curtume; T3) solo com pH corrigido; T4) solo com pH corrigido + Cr⁶⁺; T5) solo com pH corrigido + Cr⁶⁺ + esterco; T6) solo com pH corrigido + Cr⁶⁺ + esterco + Mn²⁺.

A dose de lodo de curtume contendo umidade=750g kg⁻¹; pH=8,0; carbono orgânico=450g kg⁻¹; Mn²⁺=56,0mg; Cr 17g

kg⁻¹ e Valor de Neutralização =20,6 % foi de 60Mg ha⁻¹ em base seca, correspondendo à dose máxima permissível de cromo aplicada ao solo que é de 500mg kg⁻¹, segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM (RODRIGUES *et al.*, 1993). Visando a igualar a quantidade de carbono orgânico incorporada com a aplicação do lodo, utilizou-se a dose de 100Mg ha⁻¹ de esterco (base seca) que continha em g kg⁻¹: umidade=190; carbono orgânico=280 ; N=16 ; P=24 ;K=6,7 e Mn=3,2. Estabeleceu-se para o Cr⁶⁺ e para o Mn²⁺ as doses de 20 e 40mg kg⁻¹ de solo, respectivamente nas formas de K₂Cr₂O₇ e MnSO₄.7H₂O.

Os tratamentos foram aplicados em porções de 100g de solo (base seca) com 4 repetições e mantidas em frascos de incubação de vidro (1,5 L) hermeticamente fechados, por 42 dias. Aos 3, 21 e 42 dias de incubação, mediu-se quantidade de carbono liberado na forma de CO₂ segundo a metodologia proposta por (STOTZKY, 1965) e descrita em CASTILHOS (1998) para trabalhos envolvendo resíduos de curtume. Também, na época de amostragem, determinou-se a população microbiana pelo método de diluições decimais

sucessivas e espalhamento em placas de Petri (ZUBERER, 1994). Utilizaram-se os meios de Thornton para bactérias (PARKINSON *et al.*, 1971), Martin para fungos (MENZIES, 1965) e Caseinato-Dextrose-Agar para actinomicetos (CLARK, 1965).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Bactérias

O número de unidades formadoras de colônias de bactérias (UFC) por grama de solo situou-se entre 10⁶ a 10⁸ (Tabela 1). No tratamento com a aplicação isolada de lodo de curtume (T1) foi constatado aumento gradual e significativo da população de bactérias coletadas nas diferentes épocas de amostragem. Esses resultados estão de acordo com os verificados por SELBACH *et al.* (1991), em que a aplicação de 60Mg lodo de curtume ha⁻¹ proporcionou um aumento no número de bactérias com o tempo.

TABELA 1. População de bactérias (Unidades Formadoras de Colônias-UFC) no Argissolo submetido a aplicação de calcário, esterco, lodo de curtume e Cr⁶⁺

| Trat. | Composição | | | | | Amostragem (Dias) | | |
|-------|---------------------------------|---------|------|-----------------------------|------------------|---|----------|----------|
| | Calcário | Esterco | Lodo | Cr ⁶⁺ | Mn ²⁺ | 3 | 21 | 42 |
| | ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | | --- mg kg ⁻¹ --- | | ----- log UFC g ⁻¹ de solo ----- | | |
| 1 | 0,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 7,0 bc C | 7,8 ab B | 8,2 a A |
| 2 | 2,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 7,8 a | 7,8 ab | 7,8 bc |
| 3 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,7 c | 7,0 cd | 7,3 d |
| 4 | 2,0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 6,1 c C | 6,8 d B | 7,4 cd A |
| 5 | 2,0 | 100 | 0 | 20 | 0 | 7,3 bc B | 7,9 a A | 7,8 bc A |
| 6 | 2,0 | 100 | 0 | 20 | 40 | 7,3 bc B | 7,7 ab A | 7,8 bc A |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A ausência de letras maiúsculas na linha significa semelhança estatística pelo teste Tukey.

As amostras do tratamento 2 (calcário + lodo) apresentaram, após 3 dias da aplicação, população de bactérias 1,1 unidades log superior ao tratamento 3 (calcário). Esses aumentos foram menores nas amostragens subseqüentes, porém significativos. O carbono orgânico incorporado com o lodo de curtume e a neutralização da acidez estimularam a população heterotrófica do solo. Verificou-se pelos resultados a ausência de efeitos tóxicos do cromo incorporado com o lodo de curtume (500mg de Cr³⁺ Kg⁻¹ solo). Em concordância com esses resultados, restrições ao

crescimento bacteriano no solo somente foram observadas por ZIBILSKE & WAGNER (1982) utilizando doses superiores a 556mg de Cr³⁺ Kg⁻¹.

Os efeitos da aplicação do Cr⁶⁺ foram negativos sobre a população de bactérias na 1^a amostragem quando sua aplicação foi isolada, sem adição de carbono orgânico (T4). Nos demais, esse efeito foi inexistente em virtude da rápida redução à Cr³⁺, de baixa toxicidade aos microrganismos (ROSS *et al.*, 1981). Os efeitos da redução do Cr⁶⁺ ou da multiplicação de bactérias tolerantes à sua presença no solo

podem ser visualizados pelos dados do T4, cujos aumentos na população foram significativos com o período de amostragem. A adaptação microbiana à presença de Cr^{6+} tem sido estudada por vários autores, principalmente com as bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Enterobacter* e com ênfase nos mecanismos enzimáticos do uso do Cr^{6+} como receptor de elétrons e precipitação junto à superfície celular (WANG *et al.*, 1989; BOPP & EHRLICH, 1988 e VINCZE *et al.*, 1994). LOSI & FRANKENBERGER (1994), estudando o comportamento de alguns gêneros bacterianos na presença do Cr^{6+} , verificaram declínio acentuado na população em meio de cultura contendo teores acima de 100mg de $\text{Cr}^{6+} \text{L}^{-1}$.

Os tratamentos com aplicação de calcário, esterco bovino e Cr^{6+} (T5 e T6) apresentaram população de bactérias superior ao tratamento 4 (calcário e Cr^{6+}). Além dos efeitos

sobre a cinética de redução do Cr^{6+} (LOSI *et al.*, 1994), o esterco tende a aumentar a presença de compostos orgânicos solúveis, prontamente disponíveis, que são facilmente metabolizados, provocando um estímulo ao crescimento da população desses microrganismos.

A presença de Mn^{2+} (T6) não afetou significativamente a população de bactérias, apesar da constatação de vários autores de que o Mn^{2+} aumenta a redução do Cr^{6+} no solo.

Actinomicetos

A população de actinomicetos, de um modo geral, foi semelhante a das bactérias, variando entre 10^6 e 10^8 UFC g^{-1} de solo (Tabela 2).

TABELA 2. População de actinomicetos (Unidades Formadoras de Colônias-UFC) no Argissolo submetido a aplicação de calcário, esterco, lodo de curtume e Cr^{6+}

| Trat. | Composição | | | | | Amostragem (Dias) | | |
|-------|---------------------------------|---------|------|-----------------------------|------------------|---|----------|----------|
| | Calcário | Esterco | Lodo | Mn^{2+} | Cr^{6+} | 3 | 21 | 42 |
| | ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | | --- mg kg ⁻¹ --- | | ----- log UFC g ⁻¹ de solo ----- | | |
| 1 | 0,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 7,3 b C | 8,0 a B | 8,4 a A |
| 2 | 2,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 7,7 a | 7,8 ab | 7,8 bc |
| 3 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,0 b | 7,4 cd | 7,4 c |
| 4 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 6,4 b B | 7,1 d A | 7,3 c A |
| 5 | 2,0 | 100 | 0 | 0 | 20 | 7,6 ab B | 8,0 a A | 7,9 b A |
| 6 | 2,0 | 100 | 0 | 40 | 20 | 7,3 b B | 7,9 ab A | 7,8 bc A |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. A ausência de letras maiúsculas na linha significa semelhança estatística pelo teste Tukey.

Nas amostras com aplicação de calcário e lodo de curtume (T2) o crescimento da população foi significativamente superior ao do tratamento 3, contendo apenas calcário. Nesses dois tratamentos, as populações mantiveram-se inalteradas durante o período de amostragem. Após 3 dias da aplicação isolada de lodo de curtume (T1), constatou-se uma população inferior às mesmas amostras do tratamento 2 (calcário + lodo). Nas amostragens subseqüentes, houve um acréscimo na população, com valores significativamente superiores aos 42 dias. A exemplo da população bacteriana, esses resultados mostram a ausência de efeitos tóxicos do Cr^{3+} incorporado e a resposta desses microrganismos à adição de carbono orgânico ao solo, com a aplicação do resíduo. Sendo microrganismos heterotróficos, os actinomicetos utilizam desde fontes simples de carbono até as mais complexas. O

aumento da população com o período de amostragem verificada no tratamento 1 (lodo de curtume) exemplifica a maior proliferação dos actinomicetos em estágios mais avançados da decomposição de resíduos após a metabolização dos compostos carbonados mais solúveis por bactérias e fungos (ALEXANDER, 1980; SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Uma seqüência com população superior para bactérias, seguida de fungos e actinomicetos também foi observada por SELBACH *et al.* (1991) em solos supridos com lodo de curtume. A aplicação de Cr^{6+} (T4) reduziu a população de actinomicetos em relação ao T3, no primeiro período de amostragem, porém de forma não significativa. Com a redução do Cr^{6+} à forma trivalente nos dias seguintes, a população apresentou crescimento, igualando-se ao T3 no período de 42 dias. ROSS *et al.* (1981) ao estudarem a

sensibilidade ao Cr^{6+} de *Streptomyces* e *Nocardia*, constataram um declínio da densidade ótica desses actinomicetos com doses de $11 \text{ mg de } \text{Cr}^{6+} \text{ L}^{-1}$ em meio de cultura.

Não foi observado efeito tóxico da adição de Cr^{6+} sobre a população de actinomicetos com a incorporação de carbono orgânico pelo esterco bovino (T5), sendo a mesma estimulada em relação ao tratamento 4. A aplicação de Mn^{2+}

não proporcionou alterações significativas na população de actinomicetos, uma vez que a população verificada nos tratamentos 5 e 6 foram estatisticamente semelhantes.

Fungos

A população de fungos foi inferior às populações de bactérias e actinomicetos, variando entre 10^5 e 10^6 UFC g^{-1} solo (Tabela 3).

TABELA 3. População de fungos (Unidades Formadoras de Colônias-UFC) no Argissolo submetido a aplicação de calcário, esterco, lodo de curtume e Cr^{6+}

| Trat. | Composição | | | | | Amostragem (Dias) | | |
|-------|---------------------------------|---------|------|-----------------------------|------------------|---|----------|---------|
| | Calcário | Esterco | Lodo | Mn^{2+} | Cr^{6+} | 3 | 21 | 42 |
| | ----- Mg ha^{-1} ----- | | | --- mg kg^{-1} --- | | ----- log UFC g^{-1} de solo ----- | | |
| 1 | 0,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 6,2 C | 6,9 a B | 7,4 b A |
| 2 | 2,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 6,2 C | 6,9 a B | 7,5 a A |
| 3 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,2 | 6,0 c | 6,0 d |
| 4 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 6,3 B | 6,8 ab A | 6,8 d A |
| 5 | 2,0 | 100 | 0 | 0 | 20 | 6,2 | 6,1 c | 6,2 d |
| 6 | 2,0 | 100 | 0 | 40 | 20 | 5,8 | 5,9 c | 6,0 d |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. A ausência de letras minúsculas na coluna ou maiúsculas na linha significa semelhança estatística pelo teste Tukey.

A quantidade de Cr^{3+} incorporado com os tratamentos contendo lodo de curtume (T1 e T2) não causou efeito inibitório do crescimento de fungos, observando-se, inclusive, aumentos significativos na população quando comparadas ao tratamento 3 contendo apenas calcário. Também nos tratamentos com lodo, as contagens refletem o aumento da população com o período de amostragem. Resultados semelhantes foram obtidos por SELBACH *et al.* (1991) em estudo em que foram adicionados ao solo 60Mg lodo curtume ha^{-1} . Considerando a natureza heterotrófica dos fungos, alguns gêneros apresentam maior crescimento nos períodos iniciais de decomposição do resíduo aplicado, havendo posterior declínio. Contudo, outros gêneros como *Aspergillus* e *Penicillium*, de alta capacidade de esporulação, são prontamente estimulados com a introdução de substrato orgânico, determinando um alto número de colônias nas contagens, após longo período da incorporação (ALEXANDER, 1980).

Ao contrário do que foi verificado com a população de bactérias e de actinomicetos, a população de fungos não foi afetada pela presença do Cr^{6+} (T4). Em alguns casos, o

ambiente prejudicial devido à presença de Cr^{6+} pode induzir a população fúngica a um estágio reprodutivo precoce, resultando em maior produção de esporos por biomassa (GADD, 1986) e conseqüentemente maior contagem desses microrganismos. BALDI *et al.* (1990) relatam a adaptação de estirpes do gênero *Candida* a concentrações de até $500 \text{ mg de } \text{Cr}^{6+} \text{ L}^{-1}$. O mecanismo de resistência, segundo os autores, foi o acúmulo do Cr^{6+} em baixas quantidades junto à superfície celular, também constatado em bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Alcaligenes*.

Mesmo sendo constatado uma relação direta da população fúngica do solo com a adubação orgânica (NUERNBERG *et al.*, 1984), observou-se que a população do tratamento com aplicação de esterco (T5), foi semelhante à verificada no tratamento contendo calcário e Cr^{6+} (T4). O carbono orgânico incorporado, promoveu diminuição dos teores de Cr^{6+} , tornando o ambiente mais favorável a esses organismos. Não foram observadas modificações significativas na população de fungos no tratamento com aplicação de Mn^{2+} (T6).

Atividade Microbiana

A atividade microbiana, medida pela liberação de carbono na forma de CO₂, aumentou significativamente nos tratamentos com aplicação de lodo de curtume e esterco. O

C-CO₂ mineralizado ao final de 42 dias foi semelhante entre os tratamentos 1 e 2, e cerca de 10 vezes superior ao observado no tratamento contendo apenas calcário (T3) (Tabela 4).

TABELA 4. Liberação acumulada de C-CO₂ no Argissolo durante período de incubação de 42 dias

| Trat. | Composição | | | | | Amostragem (Dias) | | |
|-------|---------------------------------|---------|------|-----------------------------|------------------|--|----------|---------|
| | Calcário | Esterco | Lodo | Mn ²⁺ | Cr ⁶⁺ | 3 | 21 | 42 |
| | ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | | --- mg kg ⁻¹ --- | | ----- mg C-CO ₂ 100 g ⁻¹ de solo ----- | | |
| 1 | 0,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 70,4 a | 288,5 a | 406,3 a |
| 2 | 2,0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 66,0 a | 276,5 a | 406,3 a |
| 3 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,1 b | 28,9 c | 40,9 c |
| 4 | 2,0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 9,5 b | 24,0 c | 31,1 c |
| 5 | 2,0 | 100 | 0 | 0 | 20 | 67,1 a | 242,2 ab | 338,1 b |
| 6 | 2,0 | 100 | 0 | 40 | 20 | 66,0 a | 232,9 b | 321,8 b |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A atividade da microbiota foi estimulada com a incorporação do resíduo com alto teor de carbono orgânico e de baixa relação C/N. Nos tratamentos com a adição de lodo, a quantidade de Cr³⁺ aplicada (500mg kg⁻¹), além de não reduzir as populações de bactérias, actinomicetos e fungos, não inibiu a atividade microbiana no período estudado. Constatou-se, inclusive, uma correlação significativa (r=0,88) entre a liberação de C-CO₂ dos tratamentos contendo lodo de curtume (T1 e T2) e as suas populações de fungos.

Os tratamentos sem a presença de lodo de curtume ou esterco apresentaram as mais baixas liberações de C-CO₂. Nesses tratamentos a atividade da microbiota foi restrita ao carbono orgânico presente no solo, resultando assim, em baixos valores de mineralização, sem diferenças significativas quanto à presença de Cr⁶⁺. A toxidez devida ao Cr⁶⁺ pode interferir prioritariamente em outras atividades relacionadas com os microrganismos do solo. SPEIR *et al.* (1994), após a aplicação de 260mg de Cr⁶⁺ kg⁻¹ de solo, verificaram que a respiração microbiana foi o processo menos afetado em comparação à desnitrificação, formação de biomassa e atividades da fosfatase e urease. Os efeitos negativos sobre biomassa microbiana têm sido relacionados com a alta capacidade oxidante do Cr⁶⁺, com a sua mobilidade pela membrana celular e interação nociva com os ácidos nucléicos (OGAWA *et al.*, 1989; MAZIERSKI, 1994; GARCIA *et al.*, 1994).

A liberação de C-CO₂ nos tratamentos com aplicação de esterco (T5 e T6) foi inferior à determinada nos tratamentos

com aplicação de lodo de curtume (T1 e T2). Considerando que a quantidade de carbono orgânico adicionada foi a mesma tanto para o esterco quanto para o lodo (14g kg⁻¹ de solo), a maior liberação de carbono nos tratamentos com lodo de curtume pode ser devida à maior incorporação de nutrientes e correção do pH e à ação inoculante do lodo de curtume, como veículo de microrganismos adaptados ao meio e atuantes na degradação dos resíduos (BASU *et al.*, 1997). Nesse sentido, as amostras dos tratamentos 1 e 2 apresentaram maiores populações de bactérias, actinomicetos e fungos, na contagem realizada aos 42 dias. À semelhança dos efeitos sobre a população microbiana, o Mn²⁺ adicionado no tratamento 6 não afetou a sua atividade em comparação com o tratamento 5, excetuando-se as amostras mais úmidas nas quais a liberação acumulada de C-CO₂ foi menor.

CONCLUSÕES

A aplicação de lodo de curtume ao solo, em doses que incorporem até 500 mg Cr³⁺ kg⁻¹, aumenta a atividade e as populações de bactérias, actinomicetos e fungos.

O efeito negativo da aplicação de Cr⁶⁺ sobre as populações e atividade da microbiota do solo é diminuído com o tempo e com a aplicação de esterco bovino, devido à sua redução à forma Cr³⁺ de menor toxicidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. **Introducción a la Microbiología del suelo.** México:Libros y Editoriales, 1980, 491p.
- BALDI, F. ; VAUGHAN, A.M.; OLSON, G.J. Chromium (VI) resistant yeast isolated from a sewage treatment plant receiving tannery wastes. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.56, n.4, p.913-918, 1990.
- BASU, M. ; BHATTACHARYA, A. K. PAUL, A.K. Isolation and characterization of chromium-resistant bacteria from tannery effluents. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, New York, v.58. p. 535-542, 1997.
- BOPP, L.H. ; EHRLICH, H.L. Chromate resistance and reduction in *Pseudomonas fluorescens* strain LB 300. **Archive Microbiology**, New York, v.150, p.426-431. 1988.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Recife, 1973 431p. (Boletim técnico, 30)
- CASTILHOS, D.D. **Alterações químicas e biológicas devidas à adição de resíduos de curtume e de cromo hexavalente.** Porto Alegre, 1998.195p. Tese (Doutorado em Agronomia-Solos) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- CLARK, F. E. Actinomycetes. In: BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965.v.2p.1473-1476.
- DODSON, M.S.; CINTRA, A. A. D.; SILVA, E.T. *ET AL.* Biomassa microbiana em Latossolo roxo tratado com lodo de esgoto contaminado com doses crescentes de cromo e cultivado com sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumo Expandido.** Rio de Janeiro: SBCS, 1997, CD ROM.
- FORTES, P.N.; SELBACH, P.A.; CAVALLET, L.E. Avaliação de microrganismos do solo em função da incorporação de lodo de curtume com cromo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23.,1991, Porto Alegre, **Resumos ...** Porto Alegre, SBCS, 1991. p.321.
- GADD G.M. Fungal responses towards heavy metals. In: HERBERT R. A. ; Academic Press, 1986. p.83-110.
- GARCIA M.T. ; RIBOSA, I. PEREZ, L. *et al* . The environmental impact of chromium salts: ecotoxicity and inhibition of surfactant biodegradation. **Toxicological and environmental chemistry**, London, v.44, p.225-232, 1994.
- LOSI, M.E.; AMRHEIN, C.; FRANKENBERGER, W.T. Bioremediation of chromate - contaminated ground water by reduction and precipitation in surface soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.23, p.1141-1550, 1994.
- LOSI, M.E.; FRANKENBERGER, W.T. Chromium-resistant microorganisms isolated from river sediments. **Water, air and soil pollution**, Amsterdam, v.74, p.405-413,1994.
- MAZIERSKI, J. Effect of chromium (Cr⁶⁺) on the growth rate of denitrifying bacteria. **Water reserach**, London, v.28, n.9, p.1981-1985, 1994.
- MERTZ, W.E. Chromium occurrence and function in biological systems. **Physiology Reviews**, Baltimore, v.49, p.163-239, 1969.
- MENZIES, J.D. Fungi. In: BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965.v.2p.1502-1505.
- MILACIC, R.; STUPAR, J. Fractionation and oxidation of chromium in tannery waste-and sewage sludge-amended soils. **Environmental Science and Technology**, Easton, v.29, n.2, p.506-514, 1995.
- NUERNBERG, N.J.; VIDOR C. STAMMEL, J. G. Efeitos de sucessões de culturas e tipos de adubação na densidade populacional e atividade microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.197-203., 1984.
- OGAWA, T.; USUI, M.; YATOME, C. Influence of chromium compounds on microbial growth and nucleic acid synthesis. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.43, p.254-260,1989.
- PARKINSON, E. S. ; GRAY T.R.G. ; WILLIAMS, S. T. **Methods for studying the ecology of soil microorganisms**, Oxford: Adlard, 1971. 116p.
- ROSS, D. S. ; SJODREN R. E. ; BARTLETT R.J. Behavior of chromium in soils: IV. Toxicity to microorganisms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.10,n.2, p.145-148, 1981.
- RODRIGUES, A.L.M.; ANGHINONI, M.C.M.; TEDESCO M.J. *et al.* Critérios técnicos para disposição no solo de resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO DA UNIÃO INTERNACIONAL DOS QUÍMICOS E TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, 22., 1993, Porto Alegre. **Boletim.** Porto Alegre: FEPAM, 1993. 14p.
- SELBACH, P.; TEDESCO M.J.; GIANELLO, C. *et al.* Descarte e biodegradação de lodo de curtume no solo . **Revista do Couro**, v. jul-ago, p.51-62, 1991.
- SPEIR, T.W. KETTLES, H.A. PARSHOTAM A. *et al.* A simple kinetic approach to derive the ecological dose value ED₅₀ for the assesment of Cr (VI) toxicity to soil biological properties. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v.27, n.6, p.801-810, 1995.
- STOTZKY, G. Microbial Respiration. In: BLACK, C. A. , ed. **Methods of soil analysis**, Madison: Americam Society of Agronomy, 1965, v.2,p.1551-1572.
- SIQUEIRA, J. O. ; FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo: Fundamentos e Perspectivas.** Lavras: ESAL/FAEPE; Brasília:ABEAS, 1988.236P.
- STRECK, E.V.; KÁMPF N.; KLANT, E. Atualização da classificação taxônomica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul, EMATER/Secretaria da Agricultura,Porto Alegre.1999.5p.
- VINCZE, G. ; VALLNER, J. ; BALÁZSKY, S. *ET AL.* Investigation of chromium (VI) tolerant bacteria. **Acta Biologica Hungarica**, , v.45, n.1, p.17-23,1994.
- WANG, P.C.; MORI T. ;KOMORI K. *et al.* Isolation and characterization of an *Enterobacter cloacae* strain that reduces hexavalent chromium under anaerobic condicions. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.55, n.7p. 1665-1669, 1989.
- ZUBERER, D. A. Recovery and enumeration of viable bactéria . In: **Methods of soil analysis.** Parte 2: Microbiological and Biochemical Analysis. cap.8, 1994.
- ZIBILSKI , M. L. ; WAGNER, G.H. Bacterial growth and fungal genera distribution in soil amended with sewage sludge containing cadmium, chromium and copper. **Soil Science, Baltimore**, v.134, n.6, p.364-369, 1982.