

CAPÍTULO 21

Uso de Resíduos de Indústrias Curtidoras na Recuperação de Áreas Degradadas¹

*Paulo Guilherme Salvador Wadt
Murielly de Sousa Nóbrega
Sandra Tereza Teixeira*

1. Introdução

A modificação dos sistemas naturais pela atividade humana origina as “áreas alteradas”, as quais podem ter sua capacidade de produção melhorada, conservada ou diminuída em relação ao sistema natural (WADT et al., 2003). Contudo, se essa alteração ocorrer com processos que levam à perda da capacidade produtiva do sistema significa que as áreas estão sendo degradadas. Normalmente, o processo de degradação das terras está relacionado à própria degradação dos solos, embora, outros processos, como as práticas de manejo inadequadas, também conduzam à degradação, constituindo um prejuízo socioeconômico para as gerações atuais e representando um enorme risco para as futuras gerações (DIAS-FILHO, 2003).

A degradação dos solos agrícolas resulta de diferentes processos que podem estar relacionados à erosão hídrica ou eólica, à perda de matéria orgânica do solo, à exportação de nutrientes pelas colheitas e à compactação do solo, em decorrência de uso intensivo de máquinas agrícolas ou do superpastoreio (DIAS-FILHO, 2003; PRUSKI, 2006). A degradação ocorrerá, então, quando houver perda de propriedades físicas, químicas ou biológicas favoráveis à manutenção da produtividade agrícola, à medida que os fatores de produção não forem suficientes para manter a produtividade em níveis adequados. Geralmente, a degradação conduz ao abandono da área por vários anos até que as condições naturais do solo sejam recuperadas naturalmente (MOROKAWA, 1991).

O grau de susceptibilidade dos solos ao processo de degradação depende, portanto, das características de cada tipo de solo e dos processos relacionados à manutenção da produtividade. Por exemplo, Latossolos são menos susceptíveis à degradação por compactação que os Argissolos ou Luvissolos. Por outro lado, os Latossolos podem rapidamente perder sua fertilidade natural (ARAÚJO et al., 2005). Assim, o manejo para a recuperação das áreas degradadas deve

¹Parte do relatório de conclusão de curso de Engenharia Agrônômica apresentado à Universidade Federal do Acre pela segunda autora.

considerar não somente as causas da degradação, como forma de minimizar seus efeitos, mas também as propriedades do solo, de modo a corrigir os problemas responsáveis pela perda da produtividade da área.

Na região do entorno da cidade de Rio Branco concentra-se a maior densidade de áreas degradadas do Estado do Acre. Normalmente, estas áreas estão ocupadas por pastagens com idade superior a 15 anos e que não receberam adição de corretivos ou fertilizantes para a manutenção da sua fertilidade. Nestas áreas, a degradação não comprometeu ainda a capacidade de produção biológica do sistema (DIAS-FILHO, 2003), de forma que as medidas corretivas estão associadas principalmente à melhoria da fertilidade do solo. Assim, conclui-se que os processos de reabilitação possíveis estão relacionados à utilização de corretivos e fertilizantes minerais ou orgânicos, introdução de leguminosas forrageiras e ao uso de resíduos locais como condicionadores do solo ou fontes de nutrientes, entre outros.

As estratégias de recuperação devem ser definidas de acordo com o grau de degradação no qual se encontra o solo e com os objetivos pretendidos. Além disto, a estratégia definida deve se basear na adoção de tecnologias simples, de baixo custo e apropriadas às condições tecnológicas da região.

Alguns resíduos têm sido aplicados em solos agrícolas, visando principalmente ao aproveitamento de nutrientes às plantas e melhoria das propriedades físicas do solo.

A utilização de resíduos locais na reabilitação de áreas degradadas é amplamente vantajosa, visto que, quando aplicado no solo, o resíduo é simultaneamente tratado (à medida que sofre atenuação de seus constituintes perigosos) e disposto (quando o solo torna-se seu receptor final).

O lodo de curtume, produzido durante o curtimento do couro (STOMBERG et al., 1984; CASTILHOS et al., 2002), é constituído por macro e micronutrientes essenciais às plantas. Suas principais características são (BRAILE; CAVALCANTI, 1979):

- Cal e sulfeto livres.
- pH elevado.
- Crômio potencialmente tóxico (no caso de curtimento ao crômio).
- Matéria orgânica (sangue, soro, produtos da decomposição de proteínas), o que resulta em demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada.
- Teor elevado de sólidos em suspensão (principalmente pêlos, graxas, fibras, proteínas, sujeira).
- Coloração leitosa devido à cal, verde-castanho ou azul por causa do curtimento e das cores variadas do tingimento.
- Dureza das águas de lavagem.
- Elevada salinidade (sólidos dissolvidos totais).
- Elevada demanda química de oxigênio (DQO).

No entanto, a disposição de resíduos provenientes da curtição do couro não deve ser feita de modo indiscriminado. Dependendo do processo utilizado, estes resíduos podem apresentar crômio em sua composição. Esse elemento acarreta uma série de problemas à saúde pública, principalmente por ser um agente cancerígeno, devendo-se evitar a sua presença nos alimentos e líquidos consumidos pela população humana e pelos animais.

Além disto, normalmente estes resíduos apresentam elevado teor de sais inorgânicos, com forte potencial de salinização do solo. Considerando que no Estado do Acre o lodo de curtume vem sendo aplicado em áreas de pastagens, o objetivo deste capítulo será discutir o potencial do uso deste resíduo como insumo para a reabilitação de áreas degradadas.

2. Geração e Disposição de Lodo de Curtume

2.1. A Indústria de Couro

O setor de curtumes tem crescido significativamente nos países em desenvolvimento, deslocando-se a produção de couros da Europa e EUA para o extremo Oriente e América do Sul, destacando-se China, Brasil, Índia, Coréia e Argentina. Nos países do Leste Europeu também verifica-se o crescimento da produção de couros, especialmente o wet blue. Entre as razões, apontam-se a busca de mão-de-obra de menor custo e as restrições mais severas das políticas ambientais dos países produtores tradicionais. Na América do Sul, o Brasil destaca-se como produtor, pois a Argentina, apesar de ter couro reconhecidamente de melhor qualidade, não registrou mudanças relevantes no período em foco. O Brasil possui atualmente o segundo maior rebanho do mundo, embora a utilização seja ainda relativamente baixa quando comparada àquela dos países tradicionais e de menor rebanho (SANTOS et al., 2007).

A capacidade instalada da indústria curtidora, em 2000, foi de 35 a 40 milhões de couros bovinos. A produção brasileira cresceu nos anos 90, passando de 23,5 milhões de couros em 1991 para 33 milhões em 2001, representando cerca de 10% do mercado mundial. Os frigoríficos foram responsáveis por cerca de 60% dessa produção e, os salgadores, por outros 25%. As regiões Sul e Sudeste são responsáveis por 72% da produção brasileira de couro e registram o maior número de curtumes. Os principais estados produtores são Rio Grande do Sul (23,5%) e São Paulo (23%), além do Paraná (12%) e Minas Gerais, com 10% do volume produzido (GUTERRES, 2007).

Estes curtumes são caracterizados de acordo com sua etapa de processamento do couro:

- Curtume de wet blue: desenvolve o primeiro processamento de couro, logo após o abate. O couro salgado ou em sangue é despelado, graxas e gorduras são removidas e há o primeiro banho de crômio, então o couro passa a exibir um tom azulado e molhado.
- Curtume de semi-acabado: utiliza como matéria-prima o couro wet blue e o transforma em couro crust (semi-acabado).

- Curtume de acabamento: transforma o couro crust em couro acabado.
- Curtume integrado: realiza todas as operações, desde o processamento do couro cru até o couro acabado.

2.2. Geração de Resíduos

Os curtumes são responsáveis por grande parte dos resíduos que afetam o meio ambiente, os quais, gerados no processo de curtimento, são classificados em: gases e emissões, aparas, serragem, lodos da estação de tratamento de efluentes líquidos e aqueles provenientes dos banhos.

No Estado do Acre a única indústria que adota o processamento até a etapa de wet blue e é responsável pelo curtimento do couro de animais bovinos localiza-se em Rio Branco e recebe couro proveniente dos municípios pertencentes à bacia dos vales dos rios Juruá e Purus. Nesta região encontram-se:

- a) Todos os municípios do Estado do Acre.
- b) Alguns municípios do sul do Estado do Amazonas que fazem ligação rodo-fluvial com a BR 364.
- c) Os distritos de Vila Extrema e Vila Califórnia, pertencentes ao Município de Porto Velho-RO.

No Estado do Acre, são gerados diferentes tipos de resíduos (efluentes líquidos) provenientes das seguintes etapas do processamento industrial (Fig. 1):

a) Remolho: como as peles chegam ao curtume geralmente desidratadas, devido aos processos de conservação a que foram submetidas, o remolho tem por finalidade repor o teor de água apresentado pelas peles, quando estas recobriam o animal; limpá-las, eliminando impurezas aderidas aos pêlos; e extrair proteínas e materiais interfibrilares.

b) Depilação e caleiro: tem como principal função remover os pêlos (queratina) e o sistema epidérmico, utilizando normalmente a cal hidratada e o sulfeto de sódio.

c) Desencalagem ou descalcinação: visa remover as substâncias alcalinas, tanto aquelas que se encontram depositadas como as quimicamente combinadas.

d) Purga: processo de limpeza da estrutura fibrosa por ação enzimática, que por ação proteolítica destrói materiais queratinosos degradados, gorduras, bulbos pilosos e outros, sendo normalmente realizado no mesmo banho da desencalagem.

e) Píquel: processo salino ácido que visa basicamente à preparação das fibras colágenas para uma fácil penetração do agente curtente, sendo o sal empregado no processo com a finalidade de controlar o grau de intumescimento. O píquel pode apresentar de 6% a 10% de cloreto de sódio, 1% a 1,5% de ácido sulfúrico e de 60% a 100% de água.

f) Curtimento: última etapa do processamento da pele, consiste na transformação das peles em material estável e imputrescível, passando a chamar-se de "couro". O produto mais usado neste processamento é o sal de cromo, normalmente em quantidade de 2,0% a 3,0%, relativo à massa da pele a ser curtida, dissolvido em 50% de água ou adicionado ao banho de piquel.

No curtimento com cromo, as peles incorporam entre 2,5% e 3,0% de Cr_2O_3 . Os couros obtidos caracterizam-se pela elevada estabilidade hidrotérmica.

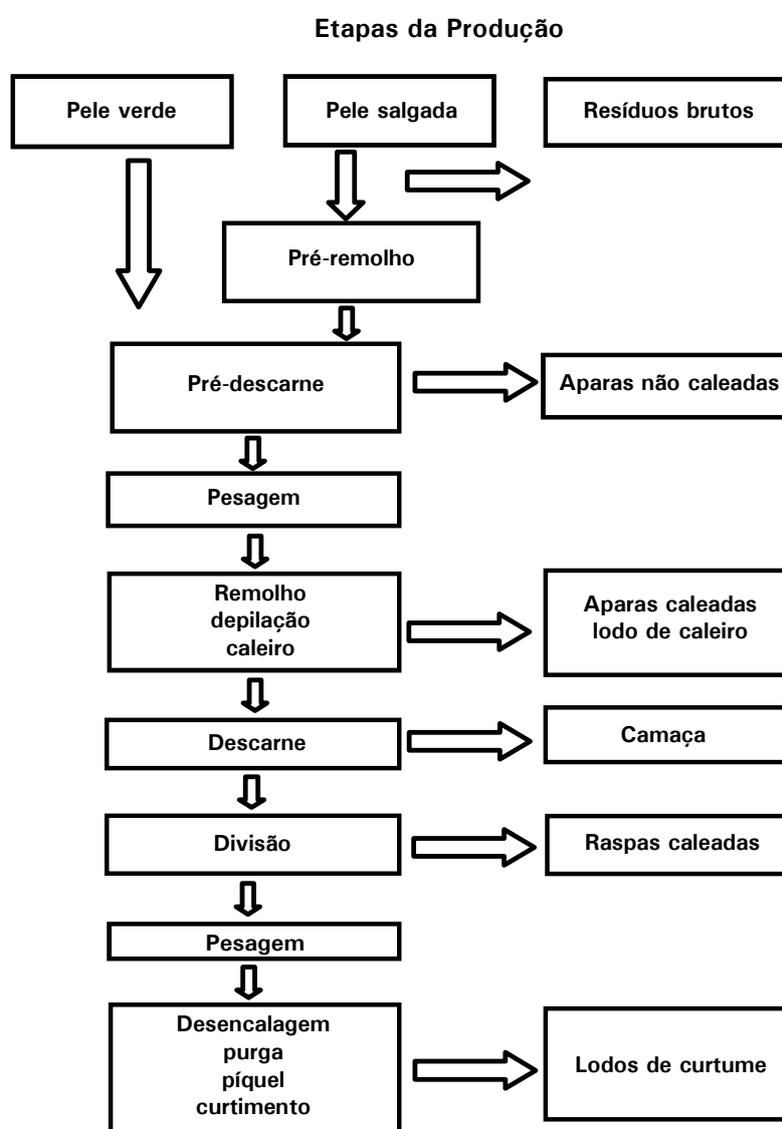


Fig. 1. Etapas da fabricação de couros e geração de resíduos

Fonte: Guterres, 1996.

A produção de couro até o estágio *wet blue* é responsável por 85% do resíduo ambiental da cadeia produtiva, em que sódio e crômio são os principais constituintes capazes de proporcionar impactos ambientais negativos. O crômio, considerado um dos principais problemas dos curtumes, é o insumo utilizado pela maioria das empresas no processo de curtimento.

A serragem cromada e o lodo de caleiro são os dois principais resíduos gerados no processo de curtimento em *wet blue*. Principal fonte de crômio, a serragem cromada é um resíduo volumoso, altamente tóxico e, por ser um produto lentamente biodegradável, permanece por muito tempo no ambiente (SANTOS et al., 2007).

Por sua vez, o lodo de caleiro constitui-se no efluente líquido derivado dos processos de remolho, depilação e caleiro; desencalagem e purga são processos cujos produtos possuem elevado poder neutralizante, além de conter nitrogênio, cálcio e sódio em sua composição. Junto ao lodo de caleiro, produz-se o lodo do refluxo, que normalmente é formado pela separação da fração menos densa do lodo de caleiro.

Além destes, há o processo de sedimentação do lodo de curtume e de limpezas gerais gerado no processo de reaproveitamento da água na indústria, que resulta, respectivamente, nos lodos de decantador primário e de águas gerais.

Todos os lodos gerados, como o caleiro, refluxo, decantador primário e águas gerais, são mantidos em tanques separados e depois misturados, quando da sua destinação final, em proporções variadas, sendo denominados indistintamente de "lodo de curtume".

Este lodo possui elevada carga orgânica e inorgânica, podendo apresentar concentrações variáveis de crômio segundo o tipo de lodo e contaminações do processamento industrial (STOMBERG et al., 1984). Em média, são gerados 15 kg de resíduos sólidos por pele processada (CASTILHOS et al., 2002).

Devido à presença de sais constituintes orgânicos (pêlos, gorduras, restos de epiderme) e inorgânicos (carbonatos, nitrogênio, cálcio, enxofre), estes resíduos são potencialmente úteis para a recuperação de áreas degradadas e para o crescimento das plantas. Sua aplicação pode ser feita facilmente em áreas de pastagens ou áreas agrícolas mecanizadas por meio de caminhões-tanque (Fig. 2).

Por outro lado, esses resíduos apresentam alto potencial poluidor devido a algumas de suas características químicas, como a presença de crômio, cujas quantidades encontradas no lodo de serragem cromada são de 17 a 36 $\cdot \text{mg kg}^{-1}$, base seca, e no lodo de caleiro 0,025 a 0,080 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, base seca, conforme resultados obtidos por alguns autores (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2002; FERREIRA et al., 2003). Além disto, há possibilidade de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais por nitrato (devido à carga orgânica elevada) e o risco de salinização do solo se disposto em grandes quantidades por unidade de área, sendo, este último o maior risco ambiental devido à utilização indiscriminada destes resíduos em áreas agrícolas.

Foto: Paulo Guilherme S. Wadt



Fig. 2. Aplicação do lodo de curtume na forma de efluente líquido em área agrícola mecanizada.

2.3. Disposição do Lodo de Curtume em Áreas Agrícolas

A correta disposição dos resíduos gerados pelas indústrias curtidoras tem sido uma questão de discordância entre as indústrias e os órgãos ambientais. A legislação ambiental vigente exige que as indústrias destinem os seus resíduos segundo as normas estaduais e/ou federais, dentro dos padrões de qualidade ambiental pré-estabelecidos.

Inicialmente, as indústrias de curtume descartavam os resíduos acumulados em aterros industriais, cuja construção e manutenção envolvem um custo muito alto. Além disso, esses aterros representam um elevado risco ambiental, podendo causar graves acidentes capazes de comprometer o ecossistema do entorno (KONRAD; CASTILHOS, 2002).

Uma alternativa para a destinação final de resíduos orgânicos ou inorgânicos é aplicá-los na agricultura, uma vez que possuem valor como corretivo e/ou fertilizante.

A disposição de resíduos em áreas agrícolas é regulada por instruções normativas e portarias estaduais e federais (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999; BRASIL, 2004) que limitam as quantidades máximas admitidas em função dos agentes fitotóxicos, tais como: organismos patogênicos ao homem, animais e plantas, presença de metais pesados tóxicos, além da existência de pragas e ervas daninhas. Estes limites máximos admitidos são variáveis em função do tipo de aplicação dada ao resíduo, ou seja, fertilizante, condicionador ou substrato vegetal.

O lodo de curtume é classificado como resíduo da Classe II-B (BRASIL, 2004), ou seja, fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria em que o sódio (Na^+), metais pesados e compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo industrial.

Para esta classe de resíduo, a concentração máxima de cromo permitida no lodo é de $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tabela 1). Portanto, um limite bem inferior ao máximo admitido pela legislação federal.

Além da concentração dos metais pesados nos resíduos, outros pontos devem ser atendidos antes da aplicação do produto em áreas agrícolas: priorizar áreas que tenham facilidade de acesso durante o período de aplicação; manter o local de aplicação a uma distância segura de áreas residenciais, inclusive em relação aos ventos predominantes; e obter aprovação dos proprietários para a disposição do resíduo em suas áreas.

Tabela 1. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos da classe B.

Contaminante	Valor máximo admitido
Cádmio ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	3
Chumbo ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	150
Mercúrio ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1
Níquel ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	70
Crômio ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	200
Coliformes fecais - número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	1.000
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (n° em 4g ST)	1
<i>Salmonella</i> sp. número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	3

Fonte: Brasil, 2005.

Recomenda-se também que (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999):

- A declividade da área destinada à aplicação do lodo não ultrapasse 10% para aplicação superficial sem incorporação, 15% para aplicação superficial com incorporação e 18% para aplicação subsuperficial.
- Sejam mantidas zonas de proteção de modo a não causar incômodos à vizinhança pela emissão de odores.
- Mantenha-se distâncias de 15 metros de vias de domínio público e 10 metros de drenos interceptadores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais.
- A profundidade entre a superfície do terreno e o nível do lençol freático seja superior a 1,2 m na época da aplicação.

Outro aspecto importante a ser observado consiste na taxa de aplicação, que deverá respeitar o menor valor calculado com base nos cinco critérios

seguintes (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999): 1) quantidade de nitrogênio disponível; 2) quantidade de outros nutrientes disponíveis; 3) capacidade de elevação de pH do solo; 4) quantidade de metais pesados aplicados anualmente; e 5) limites de acumulação de metais no solo.

A taxa de aplicação (T_N), em função do nitrogênio disponível, deve ser calculada de forma que a aplicação de lodo em Mg ha^{-1} (toneladas por hectare) não exceda o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (Q , em kg ha^{-1}) e o teor de nitrogênio disponível no lodo (N_d , nitrogênio total disponível, em kg Mg^{-1}).

O nitrogênio total disponível deve ser calculado em função do teor de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl multiplicado pelo fator 0,4 (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999).

Assim:

$$T_N = Q/N_d$$

$$T_N = Q/(N_{\text{Kjeldahl}} \times 0,4)$$

Para verificar a quantidade de nitrogênio recomendada para as culturas no Estado do Acre deve-se consultar Wadt (2005). O fator 0,4 usado para transformar o teor de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl em nitrogênio disponível é um valor recomendado para o Estado de São Paulo e deverá ainda ser verificado para as condições do Acre, sendo, entretanto, a melhor aproximação disponível no momento.

A taxa de aplicação em função de outros nutrientes, quando devidamente justificada pelos teores de fósforo, potássio ou de macronutrientes secundários (Ca, Mg, S), deve ser definida com base na mesma equação sugerida para nitrogênio, porém não necessitando de nenhum fator para corrigir o teor de elemento determinado no resíduo. As quantidades requeridas por cultura podem ser obtidas em Wadt (2005) e a equação para determinar a taxa de aplicação é dada por:

$$T_E = Q/E$$

Onde:

T_E = taxa de aplicação em Mg ha^{-1} .

Q = quantidade do nutriente recomendada para a cultura em kg ha^{-1} .

E = teor do elemento nutriente disponível no lodo em kg Mg^{-1} .

O outro critério a ser observado é a taxa de aplicação em função da capacidade de elevação de pH do solo. Esta taxa baseia-se na capacidade do lodo de neutralizar a acidez do solo e deve considerar os resultados de curva de neutralização, baseados em medidas dos ensaios de elevação de pH provocada pelo uso crescente de lodo, de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo não ultrapasse o limite de 6,5 (pH determinado em água para uma mistura solo: água de 1:2,5).

O quarto fator a ser considerado é a taxa de aplicação em função do teor de metais pesados. Neste caso, as taxas deverão ser calculadas para respeitar os limites anuais máximos permitidos (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodo.

Metal	Taxa de aplicação anual máxima (kg · ha⁻¹ período de 365 dias*)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Crômio*	65
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

*Baseado no limite de 500 mg · kg⁻¹ solo e em um período de 20 anos de aplicação contínua.

Fonte: Adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1999.

Uma dificuldade da aplicação deste critério é determinar os limites de confiança para os teores dos metais no lodo de curtume produzido de forma a adotarem-se os valores máximos esperados no lodo como indicador para o cálculo das taxas de aplicação. Neste sentido, deve-se fazer o monitoramento do resíduo gerado, durante o período mínimo de um ano, para obter estes valores iniciais de referência.

O limite máximo de acumulação de metais no solo é o último critério a ser observado, sendo importante para definir as taxas de reaplicação do lodo nas áreas agrícolas. Deve-se calcular a carga acumulada com base na soma das cargas, considerando o teor de metal no lodo e as taxas de cada aplicação (Tabela 3).

Tabela 3. Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas.

Metal	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg · ha⁻¹)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cobre	1.500
Chumbo	300
Crômio*	1.300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2.800

*Baseado no limite de 500 mg · kg⁻¹ solo.

Fonte: Adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1999.

Além dos critérios acima, há preocupação quanto ao potencial do lodo de curtume para causar salinização do solo, o que poderia ocorrer em função de acidentes na descarga dos produtos, concentrando altas doses em determinados locais, ou mesmo devido a reaplicações excessivas em uma mesma área. Também não se deve descartar a avaliação pedológica (zoneamento específico), visto que solos hidromórficos, com diferença textural abrupta ou rasos, são mais susceptíveis à salinização.

3. Potencial Agrícola para o Uso do Lodo de Curtume

Do ponto de vista econômico, o uso dos resíduos como fertilizante orgânico representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição de parte das doses de adubação química sobre as culturas, com rendimentos equivalentes ou superiores aos conseguidos com fertilizantes comerciais (UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1979).

Em função da origem e do processo de obtenção utilizado, o lodo de curtume apresenta composição muito variável, sendo um material ainda rico em matéria orgânica, nitrogênio, cálcio e micronutrientes e com uma excelente relação C/N (Tabela 4).

As características de altos teores de nitrogênio e uma relação C/N baixa sugerem sua utilização como fonte de nitrogênio, enquanto o elevado teor de matéria orgânica o torna indicado como condicionador de algumas propriedades físicas dos solos.

Tabela 4. Característica físico-química do lodo de curtume coletado em curtume do Município de Turuçu, RS.

Característica	Lodo de serragem cromada	Lodo de caleiro
Umidade (g · kg ⁻¹)	856	833
pH	7,1	11,8
C-org (g · kg ⁻¹)	595	298
PN %	4,2	40,9
N (g · kg ⁻¹)	34,1	25,9
P (g · kg ⁻¹)	2,5	3,1
K (g · kg ⁻¹)	1,0	1,8
Ca (g · kg ⁻¹)	31	180
Mg (g · kg ⁻¹)	1,5	2,2
Na (g · kg ⁻¹)	5,9	42,3
Cr ⁺³ (g · kg ⁻¹)	36	0,023
Cr ⁺⁶ (g · kg ⁻¹)	0	0
C/N	17,4	11,5

Fonte: Konrad; Castilhos, 2002.

Do ponto de vista químico, sua utilização seria limitada pelas quantidades excessivas de sódio e de crômio. O sódio é decorrente do tratamento das peles com produtos à base desse elemento, entre eles hidróxido de sódio e bissulfito de sódio. Corroboram com estes resultados Alcantara, (1999), Selbach et al. (1991) e Gutterres (1996).

Com relação à presença de metais pesados com potencial de contaminação do solo, embora suas quantidades geralmente mostrem valores abaixo dos limites considerados críticos pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (UNITED STATES, 1980), as aplicações contínuas devem ser monitoradas com base nos parâmetros estabelecidos no item Disposição do lodo de curtume em áreas agrícolas.

3.1. Efeito no Solo

3.1.1. Fertilidade do Solo

As quantidades de N contidas no lodo podem variar de 1 a 64 g · kg⁻¹, em base seca (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2002; FERREIRA et al., 2003), e o nitrogênio contido na fração orgânica do lodo de curtume não é prontamente disponível, dependendo da mineralização para ser disponibilizado às plantas. Isto implica na necessidade de estabelecer sua equivalência agrônômica a fim de assegurar que a quantidade de resíduo aplicada irá disponibilizar nitrogênio suficiente para as plantas.

Souza et al. (2007b) observaram que a aplicação de 300 kg de N orgânico, tendo como fonte dois lodos de curtume (caleiro e decantador primário), resultou em uma acumulação de N em plantas de milho, cultivadas em vaso, equivalente à aplicação de 100 kg de N na forma de sulfato de amônio. A aplicação de maiores doses de N orgânico na forma de lodo apresentou menores acumulações totais de N nas plantas, provavelmente devido a problemas relacionados à salinização (SILVA et al., 2007). Doses de N orgânico equivalentes a 600 kg N · ha⁻¹ causaram problemas no desenvolvimento das plantas, devendo-se evitar aplicações desta magnitude tanto para o lodo de caleiro como para o lodo de decantador primário (SOUZA et al., 2007a).

Deve-se ainda considerar o efeito do lodo sobre a mineralização do nitrogênio do solo. Camargo et al. (1998) verificaram que o potencial de mineralização do nitrogênio é afetado pela aplicação de lodo de curtume, sendo até quatro vezes maior nos solos onde o lodo foi aplicado.

Do ponto de vista da nutrição mineral das plantas, deve-se considerar não só o potencial de mineralização do N contido no lodo de curtume, mas também seus efeitos secundários para o desenvolvimento da planta, como por exemplo, a toxicidade de elementos afetando o metabolismo normal das plantas.

Além do efeito relacionado à fertilização nitrogenada, com um poder de neutralização de 4% a 40%, o lodo de curtume representa um material com excelente poder corretivo da acidez e fonte de cálcio.

Ferreira et al. (2003) verificaram elevação do pH do solo de 4,9 para 6,0 e neutralização do Al trocável de 6,0 para 2,3 $\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ com a adição de 21 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de lodo de curtume, resultando ainda na mesma produtividade para a soja e o milho, em relação ao tratamento que recebeu 3,4 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de calcário (PRNT de 100%).

Ao avaliar o efeito de doses de lodo suficientes para fornecer de 50 a 600 kg de N orgânico $\cdot \text{ha}^{-1}$, aplicadas a uma profundidade de 0 a 5 cm em amostras de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, em vasos, Bertotti et al. (2007) verificaram que as maiores doses de lodo aplicadas aumentaram o pH do solo na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm, havendo também aumento do teor de Ca trocável na camada superior e de magnésio na camada inferior, além de redução da acidez potencial nas duas camadas, neste caso somente para o tratamento com a maior dose de N orgânico.

Dada a característica alcalina do lodo de curtume, seu efeito em aumentar o pH e diminuir a acidez potencial do solo já era esperado. Mesmo o aumento do teor de Ca trocável na camada superior pode ser explicado pela conjunção do efeito alcalino com os altos teores de Ca encontrados no lodo, ficando este efeito restrito à camada de aplicação pela baixa mobilidade do cálcio. Por outro lado, o aumento do teor de Mg trocável em profundidade indica o potencial deste resíduo para intensificar as perdas deste nutriente por lixiviação, o que a longo prazo poderia resultar em desequilíbrios da relação Ca/Mg no complexo de troca do solo na zona radicular.

3.2. Efeito sobre a Microbiota do Solo

O lodo de curtume pode ser altamente poluidor à medida que concentra elevada carga orgânica e inorgânica, como fenóis, sulfetos, sódio e cromo. Martines et al. (2006) avaliaram a mineralização do carbono orgânico do lodo de curtume, aplicado em solos com diferentes classes texturais. Foi observado que a maior liberação de CO_2 em solos tratados com lodo de curtume não foi devido à incorporação de matéria orgânica e nutrientes, mas principalmente ao efeito corretivo e à ação inoculante. O processo de mineralização do carbono, adicionado por meio do lodo de curtume, é dividido em duas fases distintas, uma de aproximadamente seis dias, com mineralização intensa, e outra mais lenta, na seqüência, observando-se a tendência de redução e estabilização do fluxo de carbono na forma de CO_2 .

Castilhos et al. (2000) relataram que a aplicação de lodo de curtume em doses que incorporem até 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de Cr^{+3} aumenta a atividade e as populações de bactérias, actinomicetos e fungos. Konrad e Castilhos (2002) verificaram que a produção vegetal é beneficiada pela aplicação de lodo de curtume, e este efeito associa-se principalmente à liberação do nitrogênio orgânico presente no lodo aplicado. O lodo ainda apresentou efeitos benéficos sobre a atividade microbiana, sem que a população microbiana fosse reduzida pela adição em doses de até 5.000 mg de $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{kg}^{-1}$ de solo.

O maior estímulo do crescimento das populações microbianas na presença de matéria orgânica, em relação ao efeito inibitório de metais, pode

ser freqüentemente observado em solos que receberam resíduos orgânicos. No entanto, a análise isolada pouco reflete as alterações na qualidade do solo.

Além disto, os efeitos negativos da aplicação de Cr^{+6} sobre as populações e a atividade da microbiota do solo diminuem com o tempo e com a aplicação de fontes orgânicas que auxiliam na sua redução à forma Cr^{+3} , de menor toxicidade.

A ausência de efeitos negativos da aplicação sobre os microorganismos do solo não é uma situação que normalmente deveria ser esperada, visto que a biomassa microbiana e suas atividades são afetadas pela presença de agentes potencialmente poluentes (LAMBALIS; SOUZA, 2001). Provavelmente, devam ser utilizados dados biológicos compostos por mais de uma variável, como por exemplo, a atividade enzimática e o C da biomassa microbiana, para que o efeito destes resíduos nos microorganismos do solo seja mais bem elucidado.

3.2.1. Efeito na Planta

A utilização do lodo de curtume tem-se mostrado uma excelente tecnologia para a recuperação de áreas degradadas pelo uso agrícola intensivo.

No Estado do Acre, em área tratada com lodo de curtume, a produtividade média do milho sem adubação de cobertura foi de $3.370 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (SOUZA et al., 2007b), superior à média regional que é de $1.495 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Neste experimento, onde foram testados seis diferentes híbridos de milho (cinco híbridos Pioneer e um Bandeirantes), os Bandeirantes e Pioneer 30F33 apresentaram as menores produtividades (2.325 e $2.855 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente), enquanto os híbridos Pioneer P3041 e Pioneer 30K75 apresentaram, na ausência de adubação de N em cobertura, as maiores produtividades (4.382 e $3.986 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente).

Estes resultados são bastante significativos, indicando que apenas a utilização de materiais genéticos mais produtivos em áreas recuperadas com a adição de lodo de curtume pode representar um ganho de produtividade de até $2.887 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, em relação à média regional, ou de $2.057 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ em relação ao material genético de menor potencial produtivo (SOUZA et al., 2007b).

Nesse mesmo estudo, a aplicação de apenas $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ resultou em melhoria da produtividade da cultura. Com exceção do híbrido Pioneer P3041, cujo ganho de produtividade foi de apenas 10%, os demais materiais testados apresentam um aumento de produtividade que variou de 37% para o Pioneer 30K75 até 57% para o Pioneer 30F33 (SOUZA et al., 2007b). Nesse mesmo trabalho, com relação à aplicação de $80 \text{ kg de N} \cdot \text{ha}^{-1}$, em geral o ganho de produtividade foi inferior a 20% (em comparação com a aplicação de $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$), independente da fonte de N utilizada (Pioneer 30F33, Pioneer 30F80, Pioneer 30K75 e Pioneer P3041). Entretanto, foi superior a 35% para os híbridos Bandeirantes e Pioneer 30F90 quando foi utilizado como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio, em comparação com a uréia.

Segundo Souza et al. (2007b), a combinação das tecnologias simples, como a utilização de lodo de curtume nas doses de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (teor de umidade em torno de 95%), aliada à adubação nitrogenada com uréia na dose de $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, e a utilização de sementes de híbridos com maior potencial produtivo,

mesmo mantendo-se todas as demais condições do sistema de produção atual, resultam em produtividades de milho entre 5.300 e 5.700 kg · ha⁻¹, ou seja, mais de três vezes superiores à média regional.

A maior produtividade em área tratada com lodo de curtume nos solos da região já foi observada em outro ensaio experimental por Wadt et al. (2007b), mesmo sem alterações significativas na fertilidade do solo (WADT et al., 2007a). Segundo Wadt et al. (2007b), apenas a utilização do lodo proporciona aumento de 50% da produtividade das culturas, o que é muito significativo do ponto de vista econômico, se for considerado que este produto é gratuito. Entretanto, Nóbrega e Wadt (2007) não observaram efeito do lodo de curtume sobre características fitotécnicas de plantas de milho.

O potencial do lodo de curtume observado no Estado do Acre já havia sido também constatado em outras situações no Brasil. Costa et al. (2000) verificaram maiores rendimentos de matéria seca da parte aérea em plantas de soja em tratamentos que receberam NPK + calcário e lodo com cromo (250 kg ha⁻¹). Ainda, Ferreira et al. (2003) observaram que o tratamento com lodo de curtume proporcionou incrementos de 22% no rendimento de grãos de milho quando comparado com o tratamento NPK + calcário.

Estes resultados indicam o potencial do uso do lodo de curtume para a recuperação de áreas degradadas e para a fertilização de culturas agrícolas. Entretanto, ainda são necessários estudos para determinar as quantidades adequadas a serem aplicadas em função do tipo de solo e de suas propriedades químicas.

4. Riscos Ambientais Associados ao Uso de Lodo de Curtume em Solos

4.1. Contaminação por Metais Pesados

Os metais pesados, particularmente o Cr presente no lodo de curtume, são preocupantes devido ao aumento de sua concentração em plantas e no solo, podendo, portanto, acumular na cadeia alimentar.

O cromo é o décimo metal de maior ocorrência na crosta terrestre. A maioria do cromo está presente no mineral cromita, no qual dois átomos de Cr (III) substituem átomos de Fe (III) na estrutura da magnetita (FeCr₂O₄) (BARLETT, 1997).

O Cr ocorre em estados de oxidação muito variáveis (de 2+ a 6+) (Tabela 5) e é capaz de formar complexos aniônicos e catiônicos (Cr(OH)²⁺, CrO₄²⁻, CrO₃³⁻). Normalmente, os compostos de Cr têm valência III e VI. A forma trivalente é pouco móvel, solúvel somente a pH menores que 5,0 ou quando complexada com moléculas orgânicas de baixo peso molecular, que possuem pouca mobilidade através da membrana celular (ZAYED; TERRY, 2003; AQUINO NETO; CAMARGO, 2000).

Embora o Cr (III) seja essencial à nutrição humana (ZAYED; TERRY, 2003), ainda não teve sua essencialidade comprovada para os vegetais superiores (FERREIRA et al., 2003), podendo, entretanto, influenciar os níveis de citocinina e hormônios de crescimento e interagir com ácidos nucleicos, induzindo o aumento de espermina (ZAYED; TERRY, 2003).

O Cr (III) em quantidades adequadas é essencial à nutrição humana e desempenha importante papel no metabolismo do nitrogênio (MERTZ, 1969), sendo carcinogênico apenas em altas concentrações (DL_{50} de 1.900 a 3.300 $mg \cdot kg^{-1}$) (ZAYED; TERRY, 2003).

Por outro lado, na forma hexavalente, o crômio apresenta-se como cromato, possuindo efeito carcinógeno e letal em animais e humanos em doses mais baixas (DL_{50} de 50 a 100 $mg \cdot kg^{-1}$) (ZAYED; TERRY, 2003).

Konrad e Castilhos (2002) encontraram a forma trivalente de Cr no resíduo de curtume originado da estação primária de tratamento de lodo. Nesta forma, quando encontrada no solo em pH menor do que 3,6, o crômio é fortemente adsorvido por caulinitas e montmorillonitas e, em pH acima de 5,5, forma óxidos e hidróxidos estáveis e de baixíssima solubilidade.

Tabela 5. Formas de crômio no ambiente.

Espécie	Estado de oxidação	Exemplo	Comentários
Elemento crômio	Cr (0)		Não ocorre naturalmente
Cr divalente	Cr (II)	$CrCl_2$	Instável e rapidamente oxidado a Cr (III)
Cr trivalente	Cr (III)	$CrCl_3$	Estável na natureza em minérios
Cr tetravalente	Cr (IV)	CrO_2	Não ocorre na natureza, intermediário da redução de Cr (V)
Cr pentavalente	Cr (V)	CrO_4^{3-}	Não ocorre na natureza, intermediário da redução de Cr (VI)
Cr hexavalente	Cr (VI)	$K_2Cr_2O_7$	Segunda forma mais estável. Raro na natureza. Produzido por fontes antropogênicas

Fonte: Zayed; Terry, 2003.

Os compostos orgânicos podem complexar o Cr^{3+} em pH acima de 5,5, fazendo com que o metal continue solúvel, até que encontre condições de precipitação. Por outro lado o Cr^{6+} é muito instável em solos e facilmente mobilizado em meio ácido ou alcalino. Portanto, o comportamento do Cr no solo é governado pelo pH, pelos teores de matéria orgânica e de fosfatos de Fe, Mn e Al (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

Enquanto a adsorção do Cr (VI) diminui com o aumento do pH, a adsorção do Cr (III) aumenta. Estas reações podem ser modificadas pela formação de complexos orgânicos com o metal.

O efeito dominante da matéria orgânica é estimular a redução do Cr (VI). Assim, substâncias orgânicas adicionadas ao solo, como o lodo de curtume,

causam um aumento significativo de duas espécies de Cr: o Cr associado a hidróxidos e Cr ligado à matéria orgânica.

A aplicação de lodo de curtume, associado a determinadas condições, como a presença de manganês em formas oxidadas (Mn^{3+} e Mn^{4+}), pode promover a sua oxidação para formas hexavalentes (MILACIC; STUPAR, 1995), de alta solubilidade e mobilidade, caracteristicamente tóxicas e mutagênicas para os animais superiores, plantas e microrganismos. Entretanto, essa oxidação pode ser lenta e em pequenas quantidades quando o Cr (III) é adicionado ao solo via lodo de curtume ou juntamente com uma fonte de matéria orgânica (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; JAHNEL et al., 1999).

Entretanto, em solos com altos teores de Mn redutível e drenagem deficiente, o Cr (III) pode ser oxidado a Cr (VI), tornando perigosa sua disposição, se os solos forem mantidos úmidos (ZAYED; TERRY, 2003), uma vez que com a sua secagem, o crômio é reduzido a Cr (III).

Portanto, a variabilidade no estado oxidativo do Cr em solos é de grande importância ambiental. Aplicado sucessivamente no solo, haverá tendência de acúmulo nas camadas superficiais, uma vez que, de modo geral, os metais são pouco móveis no perfil. Todavia, em função da constituição do solo, poderá ocorrer a movimentação vertical no perfil, colocando em risco a poluição do lençol freático.

Alcântara (1999) avaliou a eluviação de crômio em Latossolos muito intemperizados com diferentes texturas e verificou que foi maior no LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO em relação ao LATOSSOLO DISTROFÉRICO, sendo favorecida pelos ácidos fúlvicos presentes na matéria orgânica do solo.

Nos microrganismos, o Cr (III) é requerido por um limitado grupo, em alguns processos metabólicos. Embora a aplicação de lodo de curtume possa aumentar a atividade microbiana (CASTILHOS; KONRAD, 2002), concentrações de Cr^{+3} a partir de $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ podem reduzi-la significativamente (GAUGLHOFER, 1985).

Uma fração dos metais acumulados no solo estará disponível para as plantas. Ao absorvê-los elas poderão se transformar em porta de entrada desses metais para a cadeia alimentar. Sabe-se, por outro lado, que as plantas possuem certa capacidade de se proteger contra o acúmulo de metais pesados no solo e podem, em alguns casos, acumular altos teores em seus tecidos sem apresentar sintomas de fitotoxicidade ou mesmo diminuição na produção. Um dos mecanismos de proteção é a compartimentalização dos metais nos diferentes tecidos (MALAVOLTA, 1994).

As plantas absorvem o crômio do solo na forma de Cr (VI). O Cr (III), além da baixa mobilidade no solo, apresenta movimento muito restrito através da membrana biológica. A reação do Cr (III) com proteínas e outros colóides forma compostos relativamente grandes, que possuem baixa permeabilidade em membranas.

Borges (2003) avaliou o efeito do crômio adicionado ao solo via lodo de curtume na cultura do braquiário e do milho cultivados em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO. A análise dos resultados revelou baixos teores de crômio nas folhas de rebrota do braquiário após o corte da parte aérea. Segundo o autor, as plantas de braquiário são seletivas, absorvendo o crômio em baixas

quantidades e, conseqüentemente, acumulando-o também em baixos teores em seus tecidos. Este comportamento da forrageira é vantajoso, viabilizando a aplicação do resíduo em áreas de formação de pastagem. Na cultura do milho, os teores de crômio nos grãos maduros foram baixos e, provavelmente, não constituem um fator limitante para o uso agrônômico do resíduo nesta cultura.

4.2. Salinização

A salinização consiste na acumulação de sais solúveis de sódio, magnésio e cálcio nos solos. Essa acumulação diminui o potencial osmótico da solução do solo, gerando dificuldades na absorção da água e também toxicidade de íons específicos pela interferência dos sais nos processos fisiológicos da planta, reduzindo o seu crescimento e desenvolvimento.

A presença de grandes quantidades de sais nos solos deve-se: a) ao material de origem do solo; b) à ausência ou escassez de chuvas nas regiões de clima árido e semi-árido, onde não ocorrem precipitações suficientes para percolar os sais solúveis do solo que, conseqüentemente, acumulam; c) à alta evapotranspiração; d) à salinização pela água do mar; e) à ascensão do lençol freático; f) à água de irrigação; g) à utilização de resíduos, entre outros (BOHNEN et al., 2000).

As quantidades de sódio no lodo de curtume podem variar de 5,9 a 66 g · kg⁻¹ (base seca) e as de cálcio podem variar de 30 a 180 g · kg⁻¹ de lodo (base seca) (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2002; FERREIRA et al., 2003).

A condutividade elétrica do extrato de saturação ou da solução do solo é normalmente utilizada como um indicador da salinidade. Costa et al. (2000) notaram efeitos residuais da adição de lodo de curtume em um PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO solódico, resultando em aumento da salinidade, devido ao aumento nos teores de sódio, cálcio e magnésio e da condutividade elétrica da solução do solo. O lodo de calcário utilizado foi a fonte com maior efeito residual, aumentando a condutividade elétrica em mais de três vezes e o teor de sódio em mais de quatro vezes, enquanto a utilização de lodo de serragem cromada produziu menores efeitos sobre a salinidade do solo.

A aplicação de elevadas doses de resíduo pode inibir o crescimento das plantas. Provavelmente este efeito inibitório está associado à elevada quantidade de sais de sódio (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000) e não à presença de metais pesados nestes resíduos.

Souza et al. (2007c) verificaram que a aplicação de 1.200 kg · ha⁻¹ de N, na forma de lodo de decantador primário, resultou em morte das plantas aos sete dias após a emergência e este efeito esteve associado à elevação do pH e da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

De acordo com Silva et al. (2007), quando a condutividade elétrica no extrato de saturação está acima de 0,6dS · m⁻¹, há grandes possibilidades de ocorrer efeitos negativos pela salinidade sobre o desenvolvimento vegetal.

Entretanto, em dosagens normais, Castilhos et al. (2002) constataram, em cultivo de milho, pequenos aumentos nos teores de Na, que não afetaram a condutividade elétrica, e aumentos nos teores de Ca em proporções equivalentes ao tratamento com calcário.

5. Conclusões

Os estudos sobre a utilização de lodo de curtume em solos da região sudoeste da Amazônia Brasileira ainda são poucos. Todas as informações geradas no Brasil foram provenientes de experimentos conduzidos nas regiões Sul e Sudeste, sob condições de solo e clima totalmente distintas.

Até o momento, os estudos conduzidos corroboram os benefícios já observados pelos produtores quanto ao uso do lodo de curtume, que proporciona melhoria da produtividade das culturas, podendo-se utilizar lodo para aplicar até 300 kg N · ha⁻¹.

Assim, enquanto a utilização de lodo de curtume na agricultura representa uma alternativa para a melhoria da produtividade e a reabilitação de áreas degradadas, favorecendo o processo produtivo, atenção deve ser dada aos seus potenciais efeitos negativos, evitando-se a contaminação destas áreas com poluentes, em especial sais de sódio e cálcio.

6. Referências

- ALCÂNTARA, M. A. K. **Eluviação de crômio (III) de resíduo de curtume em colunas de dois Latossolos com diferentes texturas**. 1999. 187 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Unicamp, Campinas.
- AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. Acúmulo de crômio em alface cultivada em dois Latossolos tratados com CrCl₃ e resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 225-235, 2000.
- ARAÚJO, E. A. de; AMARAL, E. F. do; WADT, P. G. S.; LANI, J. L. Aspectos gerais dos solos do Acre com ênfase ao manejo sustentável. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005, p. 27-62.
- BARTLETT, R. J. Chromium redox mechanisms in soils: should we worry about Cr(VI)? In: CANALI, S.; TITTARELLI, F.; SEQUI, P. **Chromium environmental issues**. Milano: FrancoAngeli, 1997. p. 1-20.
- BERTOTTI, F.; PINTO, C. E. D. L.; TERAN, J. J.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; TEIXEIRA, S. T. Alterações em componentes da acidez do solo em resposta a aplicação de lodo de curtume, em vasos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007. 2 p. 1 CD-ROM.
- BOHNEN, H.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. Solos ácidos afetados por sais. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 122-126.

BORGES, J. D. **Efeitos do lodo de curtume nas culturas do milho (*Zea mays* L.) e do caupi braquiara [*Brachiaria brizantha* (HOCHST EX A. RICK) STAPF.] cultivar Marandu em Latossolo Vermelho-Amarelo.** 2003. 244 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 15, de 24 dezembro de 2004.** Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004. 18 p.

BRASIL. **Portaria nº 49, de 25 de abril de 2005.** Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005. 4 p.

CAMARGO, F. A. O.; SCHLINDWEIN, J. A.; FERREIRA, A. S.; SCHOLLES, D. Potencial de mineralização do nitrogênio presente em lodo de curtume adicionado ao solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA E FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: SBCS, 1998. 863 p.

CASTILHOS, D. D.; KONRAD, E. E. Alterações microbiológicas decorrentes de adição de lodos de curtumes. **Magistra**, v. 14, n. 1, 2002. Disponível em: < http://www.magistra.ufrb.edu.br/3_02_14.html>. Acesso em: 19 nov. 2007.

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

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. J. Atividade microbiana em solo suprido com lodo de curtume e como hexavalente. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 1, p. 71-76, 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Norma P.4.230 - Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação.** São Paulo, 1999. 32 p.

COSTA, C. N.; CASTILHOS, D. D.; KONRAD, E. E.; RODRIGUES, C. G.; PASSIANOTO, C. C. Efeito residual da adição de lodos de curtume sobre o rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: SBCS, 2000. 1 CD-ROOM.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens.** Processos, causas e estratégias de recuperação. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 152 p.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSAN, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimentos de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 755- 763, 2003.

GAUGLHOFER, J. Environmental aspects of tanning with chromium. **Journal of the Society Leather Technologists and Chemists**, v. 70. p. 11-13, 1985.

GUTTERRES, M. Tecnologia da produção do couro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA QUÍMICA, 1996, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal Rio Grande do Sul, 1996.

GUTTERRES, M. **Tendências emergentes na indústria de couros**. Departamento de Engenharia Química – Universidade do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.enq.ufrgs.br/dequi/pos/projetos/curtumes>>. Acesso em: 14 ago. 2007.

JAHNEL, M. C.; CARDOSO, E. J. B. N.; DIAS, C. T. S. Determinação do número mais provável de microorganismos do solo pelo método de plaqueamento por gotas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 553-559, 1999.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Flórida: CRC Press, 1992. 365 p.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento de milho decorrentes da adição de lodo de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 257-265, 2002.

LAMBAIS, M. R.; SOUZA, A. G. Impacto de biossólidos nas comunidades dos solos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 269-280.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos**. Piracicaba: Produquímica, 1994. 153 p.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, 2006.

MERTZ, W. Chromium occurrence and function in biological systems. **Physiological Review**, v. 49, p.163-239,1969.

MILACIC, R.; STUPAR, J. Fractionation and oxidation of chromium in tannery waste and sewage sludge-amended soils. **Environmental Science and Technology**, v. 29, n. 2, p. 506-514, 1995.

MOROKAWA, T. Uso e manejo das florestas nativas. In: WORKSHOP SOBRE RECUPEARÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1990, Itaguaí. **Anais...** Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1991, p. 53-54.

NOBREGA, M. de S.; WADT, P. G. S. Características da espiga de milho em função do nitrogênio aplicado em cobertura. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007. 2 p. 1 CD-ROM.

PACHECO, J. W. F. Curtumes. In: BRAILE, P. M.;CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. cap. 11. p. 233-278.

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água**. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 2006. p. 13-23.

SANTOS, A. M. M.; CORREIA, A. R.; ALEXIM, F. M. B.; PEIXOTO, G. B. T. **Panorama do setor de couro no Brasil**. Disponível em: <www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/is18_gs2pdf>. Acesso em: 15 ago. 2007.

SELBACH, P.; TEDESIO, M. J.; GIANELLO, C.; CAVALETT, L. E. Descarte e biodegradação de lodo de curtume no solo. **Revista Couro**, v. 6, p. 51-62, 1991.

SILVA, A. L. F. da; SOUZA, L. F. de; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; TEIXEIRA, S. T. Condutividade elétrica e pH no extrato de saturação em solos tratados com duas fontes de lodo de curtume. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007. 2 p. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. F. de; SILVA, A. L. F. da; BERTOTTI, F.; TEIXEIRA, S. T.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V. Absorção e partição do nitrogênio em plantas de milho adubadas com lodo de curtume. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007a. 2 p. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. F.; WADT, P. G. S.; BERTOTTI, F.; SILVA, A. L. F. da; PÉREZ, D. V. Efeito do N em Cobertura na Produtividade do Milho Cultivado em Área Tratada com Lodo de Curtume. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007b. 3 p. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. F.; WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V. Avaliação do Nitrogênio Orgânico de Duas Fontes do Lodo de Curtume sobre o Rendimento de Matéria Seca na Germinação de Plantas de Milho. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007c. 3 p. 1 CD-ROM.

STOMBERG, A. L.; HEMPHILL JUNIOR, D. D.; VOLK, V. V. Yield and elemental concentration of sweet corn grown on tannery waste-amended soil. **Journal Environmental Quality**, v. 13, p. 162-166, 1984.

UNITED STATE. Department of Agriculture. **Report and recommendation on organic farming**. Washington, D. C, 1980. 94 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sludge treatment and disposal**. Cincinnati: EPA, 1979. 2 v.

WADT, P. G. S.; PEREIRA, J. E. S.; GONÇALVES, R. C.; SOUZA, C. B. da C.; ALVES, L. da S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003, 29 p. (Embrapa Acre. Documentos, 90).

WADT, P. G. S. Recomendação de adubação para as principais culturas. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005, p. 63-92.

WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V.; NÓBREGA, M. de S. Alteração na fertilidade do solo, teor de nutrientes e no estabelecimento inicial de milho cultivado em áreas tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: livro de resumos...** Porto Alegre: UFRS; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007a. 360 p.

WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V.; NÓBREGA, M. de S. 2007b. Produtividade do milho em área de pastagem degradada, tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: livro de resumos...** Porto Alegre: UFRS; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007b. 360 p.

ZAYED, A. M.; TERRY, N. Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. **Plant and Soil**, v. 249, p. 139-156, 2003.