

SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE COURO COMO FONTE NITROGENADA PARA O CAPIM-ELEFANTE⁽¹⁾

Diana Quintão Lima de Oliveira⁽²⁾, Kele Tatiane Gomes Carvalho⁽³⁾,
Ana Rosa Ribeiro Bastos⁽⁴⁾, Luiz Carlos Alves de Oliveira⁽⁵⁾, João
José Granate de Sá e Melo Marques⁽⁶⁾ & Robervone Severina de Melo
Pereira do Nascimento⁽⁷⁾

RESUMO

Uma grande variedade de produtos tóxicos é emitida durante o processo de tratamento do couro nos curtumes que usam o cromo III para obter o couro *wet blue*. O resíduo sólido (raspas e aparas) contém cerca de 3 % de Cr III, que representa um sério problema ambiental e não tem, atualmente, destino adequado. O resíduo de couro após extração de Cr (colágeno) foi utilizado como fonte nitrogenada para o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum cv. Napier), em um Latossolo Vermelho-Amarelo, aplicando-se quatro doses do colágeno (4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹) e três tratamentos adicionais (testemunha; adubação com N mineral e resíduo de couro *wet blue* sem a extração do Cr). O colágeno é uma boa fonte nitrogenada alternativa para crescimento do capim-elefante até a dose de 16 t ha⁻¹. O resíduo de couro *wet blue* não disponibilizou N durante o cultivo de capim-elefante. Isso mostra que a extração do Cr utilizando-se o ácido fosfórico é fundamental para uso do rejeito de couro como fonte nitrogenada na agricultura. A aplicação do colágeno supriu a necessidade de N para plantas de capim-elefante, semelhantemente à adubação com N mineral.

Termos de indexação: resíduo de couro *wet blue*, nitrogênio, Cr, *Pennisetum purpureum*.

⁽¹⁾ Trabalho financiado pela FAPEMIG e CNPq. Recebido para publicação em abril de 2006 e aprovado em agosto de 2007.

⁽²⁾ Doutoranda em Química. Laboratório de Espectroscopia Mössbauer, Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais – DG/IGC/UFMG. Caixa Postal 2.608, CEP 31270-901 Belo Horizonte (MG). E-mail: dianaquintão@ufmg.br

⁽³⁾ Graduada em Química, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: luizoliveira@ufla.br

⁽⁴⁾ Engenheira-Agrônoma, D.Sc, Solos e Nutrição de Plantas, UFLA. E-mail: arosa@ufla.br

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Química, UFLA. E-mail: luizoliveira@ufla.br

⁽⁶⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: jmarques@ufla.br

⁽⁷⁾ Mestre em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas, UFLA. E-mail: luizoliveira@ufla.br

SUMMARY: USE OF LEATHER INDUSTRY RESIDUES AS NITROGEN SOURCES FOR ELEPHANTGRASS

Large amounts of solid wastes are produced in tanneries, which use chromium (III) to obtain wet blue leather hides. The solid residues (leather scraps and strips) contain around 3 % chromium (III), which represent a serious environmental problem and, presently, have no adequate destination. The leather waste after chromium extraction (collagen) was used as a nitrogen source for elephantgrass- Pennisetum purpureum Schum cv. Napier. Four doses of collagen (4, 8, 16, and 32 t ha⁻¹) and three additional treatments (control; mineral fertilizer N; and wet blue leather residue without Cr extraction) were used. Collagen as alternative nitrogen source has a positive effect on elephantgrass growth at rates up to 16 t ha⁻¹. Little N became available to elephantgrass plants after application of wet blue leather residues. These results show that the phosphoric acid extraction of chromium is necessary if leather waste is to be used as a nitrogen source in agriculture. The application of collagen supplied the N need of elephantgrass plants, similarly to mineral N fertilization.

Index terms: wet blue leather waste, nitrogen, chromium, Pennisetum purpureum.

INTRODUÇÃO

Nos curtumes, uma grande variedade de produtos tóxicos é produzida durante o processo de tratamento do couro. Para seu curtimento, normalmente são empregados agentes curtentes vegetais (taninos) e principalmente minerais, como o Cr, produzindo o chamado couro *wet blue* (Adzet, 2003). O processo com Cr, utilizado por cerca de 90 % das indústrias, gera resíduos (raspas e aparas contendo Cr), que necessitam de tratamento e disposição adequada (Dallago et al., 2005). A substituição do Cr no curtimento não tem sido possível devido à sua versatilidade, eficiência e custos relativamente baixos (Imai & Okamura, 1991). Desse modo, o tratamento dos resíduos sólidos de curtumes contendo Cr, visando agregar valor a esses materiais e possibilitando sua utilização em diversos ramos da agropecuária e da indústria, constitui atualmente um tópico de grande importância ambiental, técnica e econômica.

A literatura apresenta vários trabalhos que tratam da reutilização desses resíduos. A patente PI9304442 (Compassi, 1992) descreve um dos métodos mais utilizados para tratamento e posterior aproveitamento desses resíduos sólidos, que consiste na dissolução total do sólido para posterior precipitação do Cr na forma de hidróxido e utilização da proteína orgânica líquida restante como fertilizante. No entanto, todos os métodos disponíveis para reutilização do resíduo de couro curtido exigem tratamentos drásticos, processos químicos ou termoquímicos, causando a hidrólise total do couro e agregando pouco valor ao material final (Mu et al., 2003). Assim, os trabalhos relatados na literatura provocam a dissolução do couro, composto de colágeno, após extração do Cr, produzindo apenas um material protéico de difícil reutilização. O presente trabalho mostra uma técnica inovadora capaz de retirar o Cr dos rejeitos da indústria do couro com a recuperação de um material sólido colagênico com

baixo teor de Cr e elevado teor de N com potencial aplicação na agricultura.

A utilização de resíduos da indústria do couro como fonte de nutrientes para as plantas cultivadas proporcionaria menor utilização de fertilizantes convencionais e menor acúmulo de resíduos em aterros sanitários. Esses resíduos são relativamente ricos em N. Assim, estudos sobre a caracterização dos resíduos da indústria do couro, bem como sobre a viabilidade do uso desses resíduos como fonte alternativa de N para as plantas cultivadas, são de grande interesse para a exploração agrícola.

Neste trabalho, objetivou-se testar, por meio de processos ácidos e básicos, a retirada do Cr do rejeito de couro *wet blue* e avaliar a eficiência desse resíduo, previamente submetido à extração de Cr, como fonte nitrogenada para plantas de capim-elefante, em condições de casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos Departamentos de Química e de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram utilizados resíduos de couro *wet blue*, nas formas de tiras e aparas, obtidos na Curtidora Itaúna Ltda., localizada na região de Itaúna-MG. O resíduo de couro *wet blue* caracteriza-se por apresentar teor de Cr de aproximadamente 3 % em massa, sendo por isso um sério passivo ambiental (resíduo classe 1). O resíduo de couro tratado e também o solo utilizado no experimento foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho (Perkin Elmer), para identificação do material colagênico. A morfologia dos materiais antes e após extração de Cr foi estudada utilizando microscopia eletrônica de varredura (Jeol-JKA 8900RL com espalhamento de Au em fibras de C). O teor de Cr no

couro *wet blue* e do material após extração do Cr (colágeno) foi medido por espectrofotometria de absorção atômica (Varian AA-175 series). Na extração do Cr do resíduo de couro *wet blue* foram utilizados os processos baseados na patente "Processo de reciclagem de resíduos sólidos de curtumes por extração do Cr e recuperação do couro descontaminado" (Oliveira et al., 2004), em que são efetuados tratamentos térmicos controlados (~50 °C) em presença de ácidos e bases minerais, a fim de se evitar a dissolução do colágeno. Os ácidos e bases foram testados em diferentes concentrações, de modo que se maximizasse a extração do Cr e minimizasse a hidrólise total do couro. A extração do Cr foi feita por soluções de H₂SO₄ e H₃PO₄, nas concentrações de 0,1; 0,5; 1; e 5 mol L⁻¹. Para extração com base, foi testado NaOH nas mesmas concentrações dos ácidos. Efetuaram-se três repetições para cada método de análise utilizado.

A biodisponibilidade de N e Cr remanescente no colágeno para plantas de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum cv. Napier) foi estudada em experimento de casa de vegetação, em um solo coletado no município de Juiz de Fora, MG. O solo, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico textura argilosa, apresentava as seguintes características químicas e físicas: pH em água (1:2,5) 5,9; 0,0, 0,11, 4, 2 e 3 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e H + Al, respectivamente; 62 % de saturação por bases (V); 9 g dm⁻³ de CO; 8 mg dm⁻³ de P; 3, 228, 34, 5 e 0,2 mg dm⁻³ de Cu, Fe, Mn, Zn e Cr (Mehlich-1), respectivamente; 20, 42.238, 67, 20 e 74 mg dm⁻³ de Cu, Fe, Mn, Zn e Cr (USEPA 3051), respectivamente; e 460, 160 e 380 g dm⁻³ de argila, silte e areia, respectivamente. Essas análises do solo foram efetuadas segundo o método da Embrapa (1997), e o teor de micronutrientes e Cr (USEPA 3051), de acordo com USEPA (1998).

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, sendo constituído de quatro doses de colágeno e três tratamentos adicionais. Cada unidade experimental foi constituída de 5 kg de solo acondicionados em vaso, com os tratamentos correspondendo à aplicação de 10, 20, 40 e 80 g/vaso de colágeno, equivalentes a 4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹, respectivamente. Essas doses do colágeno foram calculadas de acordo com seu teor total de N (~15 %), e a taxa de mineralização média, para um composto orgânico (50 % ano⁻¹). Assim, no plantio do capim-elefante foram adicionados, em mg dm⁻³, macronutrientes (P: 200, K: 350, Ca: 80, Mg: 30 e S: 50) e micronutrientes (B: 0,5; Cu: 1,5; Zn: 5 e Mo: 0,1), na forma de reagentes p.a. e em solução, segundo Malavolta (1980). O N (somente no tratamento adicional 2) e o K foram parcelados em quatro aplicações iguais: no plantio e aos 30, 45 e 75 dias após implantação das mudas. Já o colágeno e o resíduo *wet blue* foram adicionados antes do plantio, sendo misturados em todo o solo contido no vaso. Foram colocadas cinco mudas de capim-elefante por vaso.

Após o pegamento das mudas, foi realizado desbaste, deixando-se apenas uma muda vigorosa por vaso.

Aos 53 dias após o plantio, foi feito o primeiro corte para avaliação de matéria seca e análise foliar. A parte aérea (PA) foi lavada em água destilada e deionizada, seca até peso constante em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, pesada e moída em moinho tipo Wiley. Efetuou-se a digestão nitroperclórica das amostras, em bloco digestor, para determinação dos teores de N e de Cr no extrato resultante, conforme procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997). A determinação dos teores de Cr foi feita por espectrofotometria de absorção atômica, e a de N, pelo método de Kjeldahl.

O segundo corte do capim-elefante foi realizado aos 115 dias após o plantio da cultura. Depois do corte da PA, as raízes foram retiradas dos vasos, e foram coletadas amostras de solo. As avaliações realizadas (peso de matéria seca - PA, raízes, bem como a determinação dos teores de N e de Cr nessas partes da planta) foram semelhantes às efetuadas no primeiro corte.

Os dados obtidos nos cultivos referentes a produção de matéria seca, teor e acúmulo de N e de Cr foram submetidos à análise de variância e, como ocorreram diferenças significativas pelo teste F, foram realizadas análises de regressão com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). Os modelos para ajuste das equações foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e na sua significância (p < 0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Extração de cromo do resíduo de couro

Dos reagentes ácidos e básicos testados, os que apresentaram melhores resultados para extração de Cr dos rejeitos de couro *wet blue* foram o hidróxido de Na e o ácido fosfórico. Entretanto, a extração do Cr utilizando-se o tratamento com ácido fosfórico foi ainda mais eficiente que com o hidróxido de Na, e a melhor condição de extração foi com a concentração de 0,1 mol L⁻¹. Nesta condição de extração, houve redução de aproximadamente 99,6 % do Cr presente no resíduo, passando o teor de Cr de 27.150 mg kg⁻¹ (couro *wet blue*) para 84,7 mg kg⁻¹ (colágeno). As equações (1) e (2) mostram de maneira esquemática o mecanismo de extração do Cr pelo tratamento ácido ou básico:



O colágeno do tratamento com ácido fosfórico apresentou o menor teor de Cr e a menor gelatinização (perda do material sólido por dissolução) do resíduo.

Caracterização do resíduo de couro

O espectro de infravermelho do colágeno mostra bandas características de um material colagênico, com as bandas típicas das proteínas formadoras desses materiais (Figura 1). O estiramento em 1.655 cm^{-1} , relativo ao grupamento $\text{C}=\text{O}$, e a deformação angular em 1.540 cm^{-1} , referente ao N-H , são relativos às proteínas presentes no couro (Bailey et al., 1998). É interessante observar que o solo com o colágeno, por ocasião do plantio, mostra nitidamente a banda em 1.655 cm^{-1} , indicando a presença de couro não-mineralizado. Já o espectro infravermelho do solo, 53 dias após o plantio, mostra também essas bandas, porém com intensidade menor. Esses resultados sugerem que o material sofreu mineralização, ou seja, o N vindo do resíduo de couro foi disponibilizado para a cultura. Além disso, as bandas indicam que existe material colagênico remanescente não-mineralizado no solo mesmo após o primeiro corte, sugerindo liberação gradual do N.

A morfologia do couro natural (Figura 2a) por microscopia eletrônica de varredura (MEV) é semelhante à apresentada por outros autores, referente a materiais colagênicos (Esquivel et al., 2005). O couro curtido ao Cr apresenta-se como um material fibroso (Figura 2b), o que explicaria sua maior estabilidade e, por isso, maior dificuldade em sofrer mineralização. O colágeno apresentou micrografia (Figura 2c) semelhante à do couro natural, indicando a quebra da estrutura fibrosa do resíduo industrial (couro *wet blue*) pela extração de Cr neste material.

Os teores de N encontrados no resíduo após o tratamento (Quadro 1) não são tão elevados como o da uréia, mas são bem próximos ao do sulfato de amônio, indicando grande potencial de utilização e aproveitamento agrícola. Se o N encontrado no material (~14,6 %) tiver liberação lenta, como indicado nos espectros de infravermelho, poderia ter maior eficiência que os fertilizantes minerais, uma vez que poderia fornecer o nutriente para solução do solo com

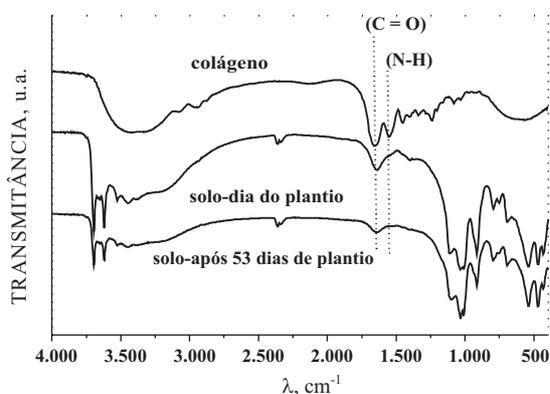


Figura 1. Espectros infravermelhos do colágeno e do solo contendo o couro como fertilizante.

velocidade e concentração mais compatíveis com as demandas das plantas ao longo de seu ciclo (Malavolta, 1981).

Os teores máximos de Cr permitidos em compostos orgânicos de lixo urbano e lodo de esgoto para sua aplicação em solos agrícolas, de acordo com as legislações de alguns países, são listados a seguir em mg kg^{-1} , base seca: Alemanha (100), Suíça (150), EPA (1.200), França (2.000) e Áustria (50 a 300), conforme Lutz (1984) e USEPA (1993). No Brasil, a proposta de resolução de 26 de outubro de 2005 para a regulamentação de uso agrícola de lodo de esgoto, sugerida pelo Conama, dispõe que o limite máximo de Cr é de 1.000 mg kg^{-1} (base seca). Para o resíduo de couro não há, até o momento, uma legislação própria. Tomando como referência os teores de Cr nas legislações supracitadas, observa-se que os teores no colágeno (Quadro 1) estão bem abaixo dos limites máximos estabelecidos, abaixo inclusive da legislação da Alemanha, que é a que possui os padrões mais rigorosos para fertilizantes orgânicos de resíduos sólidos urbanos (100 mg kg^{-1}). Assim, o colágeno apresentou elevado potencial de aplicação em solos agrícolas, por ser pouco ofensivo ao ambiente.

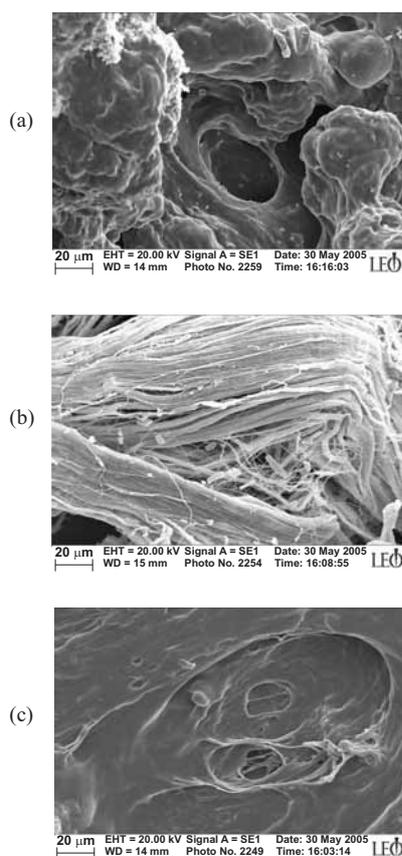


Figura 2. Micrografias dos resíduos de couro: (a) couro natural, (b) couro *wet blue* e (c) resíduo tratado (colágeno).

Quadro 1. Caracterização química do resíduo de curtume utilizado no experimento

Resíduo	N ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cr ⁽³⁾
	%		mg kg ⁻¹							
Wet blue (sem extração de Cr)	10,4	1,0	0,15	0,60	0,44	12	133	2	5	27.150
Colágeno (após a extração de Cr)	14,6	2,6	0,14	0,48	0,08	3	70	1	10	84,7

⁽¹⁾ N total. ⁽²⁾ CNA + H₂O (P₂O₅). ⁽³⁾ USEPA 3051.

Produção de matéria seca, teor e acúmulo de N e Cr em capim-elefante, em função dos tratamentos

Detectaram-se efeitos altamente significativos das doses do colágeno, bem como dos tratamentos adicionais, sobre a produção (Figura 3) e sobre os teores e os acúmulos de N (Figura 4) e do Cr (Figura 5) na matéria seca da parte aérea, por ocasião do primeiro e segundo cortes, e das raízes das plantas de capim-elefante.

Verificou-se, no primeiro corte, redução crescente na produção de matéria seca com incremento das doses do colágeno (Figura 3a). A dose de 32 t ha⁻¹ (2.400 mg kg⁻¹ de N) deve ter proporcionado desbalanço nutricional grande nas plantas que não produziram quase nada de parte aérea. Quando o solo foi tratado com o resíduo *wet blue* a produção também foi baixa, inferindo-se que não houve mineralização do N vindo desse material (Figura 3a). No segundo corte, a máxima produção da parte aérea (folha + colmos) atingiu cerca de 30 g/vaso na dose de 16 t ha⁻¹ de colágeno (1.200 mg kg⁻¹ de N) (Figura 3b), com peso superior ao encontrado no primeiro corte quando se aplicou essa dosagem. No segundo corte, a dose de 8 t ha⁻¹ (600 mg kg⁻¹ de N) também resultou em alta produção (aproximadamente 29,5 g/vaso), próxima da máxima produção atingida. Também no segundo corte, verificou-se que a produção obtida pelo tratamento com a adubação mineral foi superior, mas próxima à das aplicações de 8 e 16 t ha⁻¹ de colágeno. Ressalta-se, porém, que diferentemente dos tratamentos com colágeno, os quais não receberam outra aplicação do mesmo no segundo corte, o tratamento referente a adubação mineral recebeu NH₄NO₃ nesse segundo corte; portanto, não se trata de efeito residual para esse último

Observou-se, de maneira geral, tendência de aumento dos teores de N com o aumento das doses de colágeno até 16 t ha⁻¹, verificando-se, principalmente no segundo corte, queda brusca de N na dose de 32 t ha⁻¹. Para acúmulo de N na matéria seca de parte aérea observou-se a mesma tendência dos teores de N encontrados, tanto no primeiro quanto no segundo corte. Na maior dose, 32 t ha⁻¹, observou-se menor

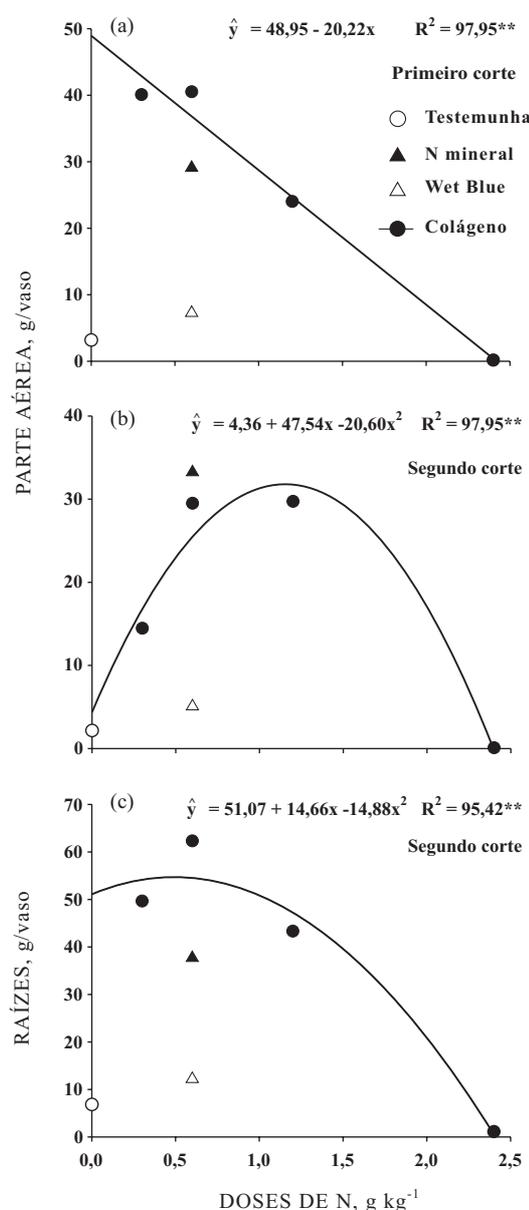


Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea por ocasião do primeiro (a) e segundo (b) corte e de raiz (c) em plantas de capim-elefante, com doses crescentes de colágeno e três tratamentos adicionais.

acúmulo de N pelo fato de as plantas não terem crescido, e isso se deve provavelmente à dose excessiva de N aplicada, a qual foi acompanhada de maior concentração de Cr (Figura 4).

No primeiro corte, as plantas supridas com o resíduo *wet blue* e as plantas controle apresentaram os menores teores de N na matéria seca da parte aérea. Quando o N não foi adicionado ao solo, as plantas de capim-elefante continham teor médio de 12,8 g kg⁻¹, e com o resíduo *wet blue* o teor estava em torno de 10,6 g kg⁻¹, abaixo dos teores considerados adequados, que são de 15 a 25 g kg⁻¹, conforme Malavolta et al. (1997), para o capim-elefante. A utilização de 4 e 8 t ha⁻¹ de colágeno (300 e 600 mg kg⁻¹ de N) e a adubação convencional com sulfato proporcionaram concentrações de N adequadas para bom crescimento das plantas de capim-elefante. Já nas doses de 16 e 32 t ha⁻¹ (1.200 e 2.400 mg kg⁻¹ de N), os teores estavam ainda mais elevados. No segundo corte, a dose de 16 t ha⁻¹ e a adubação mineral resultaram em teores dentro da faixa adequada. O N da adubação mineral foi repostado no segundo corte, não se tratando, portanto, de N residual. Nesse segundo corte, os acúmulos de N foram inferiores aos do primeiro. Isso mostra que o colágeno deverá ser repostado quando um segundo cultivo for instalado, porém em doses menores.

Os teores de Cr encontrados no primeiro corte foram mais baixos que no segundo, exceção feita para o tratamento com o resíduo de couro *wet blue*, que disponibilizou mais Cr no segundo corte. Os teores de Cr (segundo corte) na testemunha estavam próximos aos da adubação mineral e aos das doses referentes a 4 e 8 t ha⁻¹. Os teores de Cr mais altos não atingiram a faixa considerada como excessiva ou tóxica em folhas maduras (5-30 mg kg⁻¹), citada por Kabata-Pendias & Pendias (2001). Sarruge (1976), em extensa revisão sobre o Cr em plantas, mencionou que há evidências de que o crescimento de alface foi algumas vezes beneficiado pela aplicação de 0,1 mg kg⁻¹ e que pequenas quantidades de Cr, na forma de escória de Thomas, cromita, óxido ou fosfato, aumentaram a produção de todas as plantas tratadas. Formas mais solúveis foram benéficas em baixas concentrações e tóxicas nas altas. Para o milho, esse efeito benéfico do sulfato Cr foi na concentração de 0,5 mg kg⁻¹. O efeito tóxico do Cr, observado em diferentes espécies quando a solução nutritiva possuía mais de 5 mg kg⁻¹, mostrou-se no mau crescimento das raízes e na coloração vermelho-pardacenta das folhas. No presente estudo não foram observados nem nas raízes nem nas folhas do capim-elefante esses sintomas visuais de toxidez.

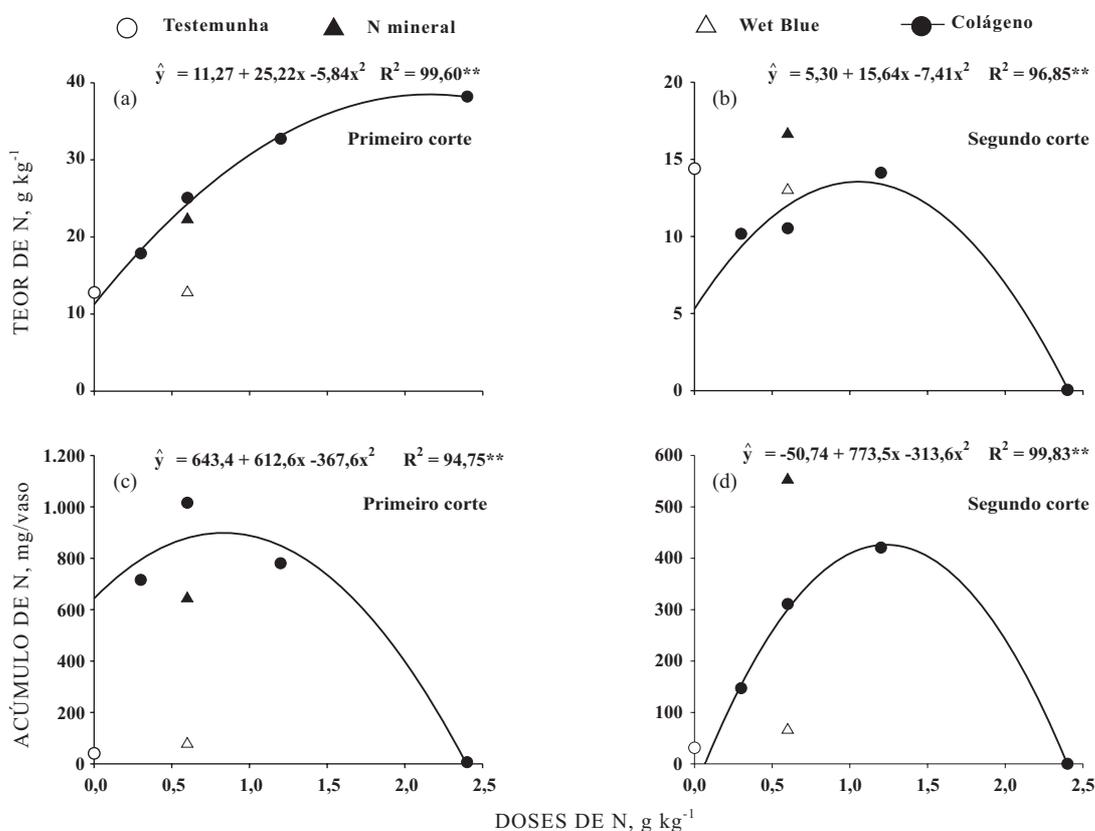


Figura 4. Teores e acúmulos de N na matéria seca da parte aérea por ocasião do primeiro (a, c) e segundo (b, d) cortes, respectivamente, em plantas de capim-elefante, com doses crescentes de colágeno e três tratamentos adicionais.

Com relação ao Cr, na dose de 32 t ha⁻¹ (primeiro e segundo cortes), os acúmulos de Cr estavam bem baixos, pois não houve crescimento de plantas, nem da parte aérea nem das raízes, possivelmente pela grande quantidade de colágeno aplicada. A produção de matéria seca (Figura 3c) e o acúmulo de Cr nas raízes (Figura 5e) no segundo corte tiveram comportamento semelhante. Notam-se, no segundo corte, acúmulos de Cr bem menores que no primeiro, exceção feita para o tratamento com a adubação mineral, que apresentou acúmulo próximo ao da dose de 16 t ha⁻¹ de colágeno.

Os teores e acúmulos de Cr nas raízes das plantas foram mais elevados que os encontrados na parte aérea (Figura 5e,f, respectivamente). Kabata-Pendias & Pendias (2001) comentaram que maiores teores de Cr são geralmente encontrados nas raízes, seguido de folhas e, ou, parte aérea, e os menores, nos grãos. Os menores acúmulos de Cr nas raízes nos tratamentos com o resíduo *wet blue* e testemunha não se refletiram em maior crescimento da parte aérea. Já nas doses referentes a aplicações de 8 e 16 t ha⁻¹ de colágeno, observaram-se altos acúmulos de Cr nas raízes, mas que não foram suficientes para afetar a produção de

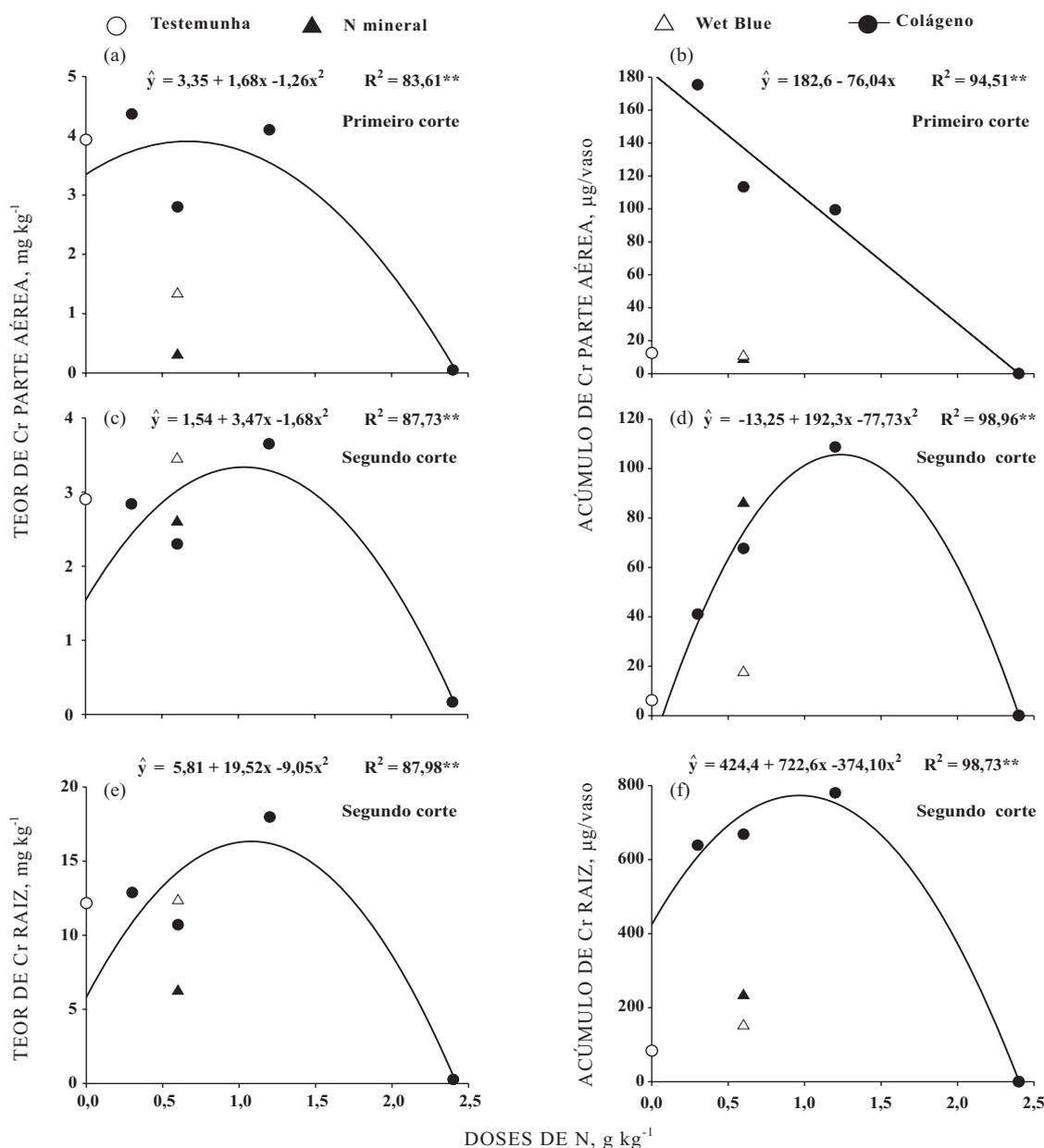


Figura 5. Teores e acúmulos de Cr na matéria seca da parte aérea por ocasião do primeiro (a, b) e segundo (c, d) cortes e de raiz (e, f) respectivamente, em plantas de capim-elefante, com doses crescentes de colágeno e três tratamentos adicionais.

matéria seca; nesse caso, a raiz parece ter agido como órgão acumulador de Cr, evitando, por algum mecanismo, sua translocação para a parte aérea. De fato, Kabata-Pendias & Pendias (2001) descreveram trabalhos em que a translocação das raízes para a parte aérea foi limitada devido à propensão do Cr^{3+} de se ligar às paredes celulares das raízes. Aparentemente, os tecidos das raízes não são capazes de estimular a redução do Cr^{3+} para o Cr^{2+} , que é prontamente solúvel.

CONCLUSÕES

1. A aplicação do colágeno supriu a necessidade de N para plantas de capim-elefante semelhantemente à adubação com N mineral. O colágeno apresentou-se como boa fonte nitrogenada alternativa para o crescimento do capim-elefante até a dose de 16 t ha^{-1} ($1,2 \text{ g kg}^{-1}$ de N). Com a dose de 32 t ha^{-1} , o crescimento do capim-elefante foi inibido.

2. Os teores de Cr mais altos não atingiram a faixa considerada como excessiva ou tóxica em folhas maduras. Os teores e acúmulos de Cr nas raízes das plantas foram mais elevados que os encontrados na parte aérea do capim-elefante.

3. O resíduo de couro *wet blue* não disponibilizou N durante o cultivo de capim-elefante. Isso mostra que a extração do Cr utilizando-se o ácido fosfórico é fundamental para uso do rejeito de couro como fonte nitrogenada na agricultura.

4. A caracterização do colágeno mostrou que a extração do Cr modifica a morfologia do rejeito de couro *wet blue*, tornando-o semelhante ao couro natural não curtido.

LITERATURA CITADA

- ADZET, J.M.; MOLINARI, R.; BUONOMENNA, M.; ROIG, G.J. & DRIOLI, E. Membrane treatment by nanofiltration of exhausted vegetable tannin liquors from the leather industry. *Water Res.*, 37:2426-2434, 2003.
- BAILEY, A.J.; PAUL, R.G. & KNOTT, L. Mechanisms of maturation and ageing of collagen. *Mechan. Ageing Develop.*, 106:1-56, 1998.
- COMPASSI, M.K. Processo de dissolução termo-química de serragem e/ou retalhos e aparas de couros curtidos ao cromo, Br PI 9202408. 1992.
- DALLAGO, R.M.; SMANIOTTO, A. & OLIVEIRA, L.C.A. Resíduos sólidos de curtumes como absorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. *Química Nova*, 28:433-437, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212p.
- ESQUIVEL, E.V.; MURR, L.E.; LOPEZ, M.I. & GOODELL, P.C. TEM observations of a 30 million year old mountain leather nanofiber mineral composite. *Materials Character.*, 54:458-465, 2005.
- FERRERA, D.F. Análises estatísticas por meio do sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. Anais. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.
- IMAI, T. & OKAMURA, H. Studies on incineration of chrome leather waste. *J. Am. Leather Chem. Assoc.*, 86:281-294, 1991.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.
- LUTZ, W. Austria's quality requirements for solid waste compost. *BioCycle*, 25:42-43, 1984.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola - adubos e adubação. 3.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 596p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MU, C.; LIN, W.; ZHANG, M. & ZHU, Q. Towards zero discharge of chromium-containing leather waste through improved alkali hydrolysis. *Waste Manag.*, 23:835-843, 2003.
- OLIVEIRA, L.C.A.; DALLAGO, R.M. & NASCIMENTO FILHO, I. Processo de reciclagem dos resíduos sólidos de curtumes por extração do cromo e recuperação do couro descontaminado, Br PI 001538. 2004.
- SARRUGE, J.R. Elementos não essenciais. In: MALAVOLTA, E., ed. Manual de química agrícola. São Paulo, Agronômica Ceres, 1976. p.135-147.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA. Epa Federal Registres. PART 503- Standards for the use or diposal. 32:9387-9404, 1993.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA. Method 3051 A: Micro-wave assisted acid digestion of sediments sludges, soils and oils. In: Sw-846: Test methods for evaluation solid waste physical and chemical methods. Washington, Office of Solid Waste, US. Environmental Protection Agency, 1998. p.1-20.