

# A UTILIZAÇÃO DO ADUBO DE RESÍDUOS DE APARA DE COURO COMO FONTE DE NITROGÊNIO NO SOLO AGRÍCOLA COM GANHOS ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS

**ELIZETE MARIA POSSAMAI RIBEIRO (EAFS- UFRGS)**

elizeterp@bol.com.br

**Pedro Barbosa Mello (UFRGS)**

mello@mecanica.ufrgs.br

## *Resumo*

□ *Esta pesquisa tem como objetivo verificar o desenvolvimento da cultura do milho com a utilização de resíduo do couro curtido ao cromo III, bem como analisar o desempenho energético no sistema global. O experimento foi realizado em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casual, com quatro repetições na cultura do milho em solos agrícolas. Os tratamentos constituíram-se da utilização de dois tipos de adubos de apara de couro de origem italiano, brasileiro e sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, em três doses. O balanço energético do adubo foi analisado teoricamente em relação ao meio ambiente e à radiação do sistema solar.*

□

*Palavras-chaves: Palavras chave: Nitrogênio, balanço energético, cromo III*

## **1. Introdução**

A reciclagem do couro bovino tem como consequência, a geração de resíduos com elevadas cargas orgânica e inorgânica e de cromo utilizado no processo de curtimento que precisam de tratamento e destino adequado. Devido às dificuldades em se conseguir local apropriado para aterros, e pelo custo elevado destes, a aplicação desses resíduos em solos agrícolas está se tornando uma das opções mais viáveis. Em alguns casos, a utilização de resíduos no solo pode ser recomendada pelo valor corretivo e fertilizante que estes apresentam. Os resíduos podem conter elementos essenciais para a nutrição das plantas como nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre.

Os benefícios da aplicação do adubo de resíduos podem se equiparar ou superar os alcançados com a adubação mineral, principalmente em relação à produtividade e economia com fertilizantes, sobretudo, nitrogenados. Segundo JOST (1989), verificou-se que experimentos realizados na Itália com as culturas de milho, trigo e arroz, não houve diferenças de rendimentos na produtividade dessas culturas, quando se utilizou tratamento com fertilizante mineral e a aplicação de resíduo de curtume. BORGES (2003) sugeriu que o uso do resíduo de curtume é viável, podendo substituir em parte, o adubo químico.

Assim, é necessário estudar as alterações nas propriedades do solo e a resposta das plantas para avaliar o potencial fertilizante dos resíduos e a possível contaminação do ambiente por metais pesados.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial agrônomo do resíduo da apara de couro como fonte de nitrogênio e de outros nutrientes para as plantas. Analisar, também, a fitodisponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos presentes nesse material.

## **2. Revisão de literatura**

Resíduos de curtume são constituídos de materiais orgânicos de origem animais misturados com sais inorgânicos, sendo que alguns desses componentes são nutrientes para as plantas e microrganismos, como nitrogênio, cálcio, enxofre, fósforo, magnésio e potássio (SELBACH et al., 1991). Durante o processamento de transformação das peles em couro são descartados recortes de peles e outras partes rejeitadas, conhecidos como apara de couro.

Os resíduos de curtume podem ser empregados na agricultura como corretivos da acidez do solo, pois elevam o pH do solo, podendo substituir a calagem (FERREIRA et al., 2003). Esse efeito deve-se à presença de quantidades significativas de carbonatos, principalmente o de cálcio, e hidróxido utilizado durante as etapas do processamento (SELBACH et al., 1991). Além disso, esse tipo de resíduo pode conter elementos essenciais à nutrição das plantas, como nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre.

### **2.1 Acúmulo, absorção e transporte de metais pesados em plantas.**

A toxicidade exercida por metais pesados em plantas tem sido demonstrada somente quando os elementos são incorporados nos solos em formas solúveis ou quando resíduos orgânicos contaminados são incorporados em doses elevadas. Nessa condição, a disponibilidade do elemento, sua toxicidade e a resposta das plantas ao estresse por metais, dependem de fatores como o tipo e composição do solo, características e propriedades das substâncias orgânicas e inorgânicas, poder quelante, o valor e as variações do pH, o potencial

redox do solo e a especiação química, além dos fenômenos de troca que se verificam na região rizosférica (MARQUES, 2002).

Quanto à distribuição de metais pesados nas plantas, as diferentes partes comportam-se de forma distinta, de acordo com o elemento considerado. Normalmente, o principal órgão, tanto de absorção quanto de acúmulo é a raiz. Em geral, apenas uma pequena parcela dos metais absorvidos alcança as folhas, mas, mesmo assim, podem alterar a estrutura e a funcionalidade das organelas fotossintéticas (MARQUES, 2002).

## **2.2 Toxidez de metais pesados em plantas**

A toxicidade exercida pelos nutrientes nas plantas depende da concentração do elemento no solo e na planta, e das características intrínsecas da mesma. Em resíduos de curtume é normal encontrar altas concentrações de cromo, assim, torna-se importante o estudo dos efeitos desse metal nas plantas e no ambiente.

### **2.2.1 Cromo**

A absorção de cromo pelas plantas está associada às características da cultura e do meio onde a planta se desenvolve. Nesse sentido, o estado de oxidação do elemento no solo exerce importante papel. Na forma hexavalente, o cromo apresenta-se como cromato, é solúvel e penetra facilmente através da membrana celular e apresenta uma ação tóxica aguda por ser um forte agente oxidante. O cromo trivalente, por sua vez, é solúvel somente a valores de pH menores que cinco, ou quando complexado com moléculas orgânicas de baixo peso molecular e tem pouca mobilidade através da membrana celular (MARTINES, 2005).

Uma pequena translocação do cromo absorvido pelas raízes para a parte aérea das plantas tem sido constatada em diversos estudos. LAHOUTI & PETERSON (1979) cultivando diversas plantas em solução nutritiva com  $\text{Cr}^{3+}$  ou  $\text{Cr}^{6+}$ , verificaram que aproximadamente 98% do elemento absorvido permaneceu retido na raiz.

A textura do solo também está relacionada com a absorção de cromo nas folhas da alface cultivada em solos que receberam resíduo de curtume. Foi observado que plantas cultivadas em solo de textura arenosa apresentaram uma concentração de cromo 2,5 vezes superior à do solo de textura média.

De forma geral, as plantas submetidas à toxidez por cromo, apresentam redução na produção de biomassa tanto na parte aérea quanto de raízes. No caso de toxidez por  $\text{Cr}^{3+}$ , inicialmente a folha apresenta ondulações na superfície. A coloração esverdeada do limbo apresenta maior intensidade, havendo o surgimento de pontos de amarelecimento. Em estágio posterior há aumento da área amarelecida, com caminhamento do sintoma da ponta para a bainha da folha. Há surgimento de ondulações por todo o limbo e amarelecimento que se inicia pelos espaços internervurais, ocupando toda a superfície da folha (MARQUES, 2002).

### **2.2.2 Mineralização de nitrogênio**

A mineralização do nitrogênio orgânico do lodo de curtume varia em função do solo e da dose de lodo aplicada, sendo observados os mais altos teores de N mineral ( $\text{NH}_4^{4+} + \text{NO}_3^{-}$ ) nos solos na primeira época de avaliação e 24 dias após a aplicação do lodo (MARTINES, 2005).

## **3. Material e métodos**

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Centro Experimental Central do Instituto Agrônomo de Campinas, seguindo esquema fatorial  $3 \times 3 \times 2$ , com delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, conforme apresentado na Figura 1,.



Figura 1 - (a) Aspecto geral do experimento em casa de vegetação.

Para o tratamento das plantas foram utilizados adubos de apara de couro de origem italiana e de origem brasileira e como fonte de nitrogênio. Foi aplicado sulfato de amônio nas seguintes proporções: doses Dose 0 = 0 ensaio em branco, Dose 1 = 750 mg de N vaso<sup>-1</sup> e Dose 2 = 1500 mg de N vaso<sup>-1</sup>. Foram utilizados solos do tipo latossolo férrico (LF) e latossolo vermelho amarelo (LVA), conforme a Tabela 1.

PARÂMETROS	UNIDADES	SOLO COM SATURAÇÃO DE BASES ALTAS (V%>)	SOLO COM SATURAÇÃO DE BASES BAIXAS (V% <)
		Latossolo Férrico	Latossolo Vermelho Amarelo
Identificação			
M.O.	g/dm <sup>3</sup>	55	38
pH		6,1	,7
P	mg/dm <sup>3</sup>	23	17
K		2,5	03
Ca		96	12
Mg	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	13	07
H+Al		16	52
S.B.		111,5	22
C.T.C.		127,9	74,2
V%	%	87	30
B		0,42	0.21
Cu		3,2	2,3
Fe		18	88
Mn	mg/dm <sup>3</sup>	34,3	3,6
Zn		8,4	10,8
Cd		0,02	<0,01

Cr	0,02	<0,01
Ni	0,24	0,07
Pb	1,97	2,36

Tabela 1. Atributos químicos dos solos utilizados no ensaio.

Os solos foram coletados no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico, em Campinas, e colocados em cada vaso 3 L de solo e oito sementes de milho (*Zea mays* L.) da variedade Al. Bandeirantes – CATI e adubados da seguinte forma:

- Fósforo – 1,7g/vaso de superfosfato triplo
- Potássio- 0,95g/vaso de cloreto de potássio
- Cálcio e Enxofre- 2,58g/vaso de sulfato de cálcio
- Magnésio- 1,8g/vaso de sulfato de magnésio

A adubação nitrogenada foi realizada por meio da aplicação dos resíduos e do sulfato de amônio.

Após dez dias da semeadura foi feito o desbaste, deixando quatro plantas por vaso. Foram feitas medidas semanais da altura das plantas: 10, 17, 23, 30, 38, 45 dias após plantio.

Aos 30 dias após plantio foi realizada uma adubação com solução de micronutrientes, a qual continha 0,75mg de B como  $H_3BO_3$ , 0,25mg de Cu como  $CuSO_4 \cdot \%H_2O$ , 0,5mg de Mn como  $MnSO_4 \cdot H_2O$ , 2mg de Zn como  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  e 0,2mg de Mo como  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ .

No 13º dia, foi realizada uma aplicação de inseticida (tetrametrina a 0,5% p/v) visando controle de lagarta do cartucho, com repetições durante os sete dias seguintes.

Após 45 dias de plantio coletaram-se as plantas para determinação do peso da massa da matéria seca, macro e micronutrientes e de metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) da parte aérea e das raízes. Foi retirada uma amostra de solo de cada vaso e encaminhada para análises de rotina e de metais pesados, no laboratório de análise de solo do IAC, de acordo com Sistema IAC de Análise de Solo (RAIJ et al. 2001).

Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias foi obtida através de teste de Tukey a 5%; também foram submetidos à análise de regressão. Foi realizado ainda, o cálculo da Eficiência Agronômica das fontes nitrogenadas a partir da seguinte fórmula:

$$IEA (\%) = \frac{(Y_2 - Y_0) \times 100}{Y_1 - Y_0} \quad (1)$$

$Y_0$  = Quantidade total de nitrogênio absorvida pela parte aérea do tratamento testemunha

$Y_1$  = Quantidade total de nitrogênio absorvida pela parte aérea do tratamento com sulfato de amônio

$Y_2$  = Quantidade total de nitrogênio absorvida pela parte aérea do tratamento com resíduo

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Produção de matéria seca

A análise estatística revelou que houve diferença de produção de massa seca entre solos e doses, mas não entre fontes de N. Assim, considerando-se as três doses e os dois solos, todas as fontes produziram quantidades similares de matéria seca, conforme relatado na (Tabela 2). Entretanto, analisando-se os solos separadamente, através da análise estatística a

maior produção de massa seca revela-se pela fonte de adubo de resíduo italiano e não pela fonte sulfato de amônio no solo LVA (Tabela 3 e 4). O solo LF proporcionou uma quantidade significativamente maior de massa seca que o LVA, pela sua maior fertilidade, comprovada pelo maior pH e pela elevada saturação por bases.

Fontes de N	Médias
Italiano	19,8 <sup>a</sup>
Brasileiro	18,2 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	18,1 <sup>a</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 2. Produção de matéria seca pelas fontes de N, em g/vaso, nos dois solos estudados. Média das três doses.

Fontes de N	Médias
Italiano	20,9 <sup>a</sup>
Brasileiro	19,2 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	20,9 <sup>a</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Produção de matéria seca pelas fontes de N, em g/vaso, no solo Latossolo férrico. Média das três doses.

Fontes de N	Médias
Italiano	18,7 <sup>a</sup>
Brasileiro	17,8 <sup>ab</sup>
Sulfato de amônio	15,3 <sup>b</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Produção de matéria seca pelas fontes de N, em g/vaso, no solo Latossolo Vermelho Amarelo. Média das três doses.

## 4.2 Disponibilidade de nitrogênio

Os resultados obtidos para a concentração de N na parte aérea do milho cultivado nos solos LF e LVA estão expressos nas Figuras 2 e 3. Os valores indicam uma tendência de aumento linear da concentração de N na parte aérea do milho para a fonte sulfato de amônio (SA) e uma tendência quadrática para as fontes do adubo de resíduo italiano (RI) e do adubo de resíduo brasileiro (RB) no solo LF e uma tendência linear para as três fontes no solo LVA.

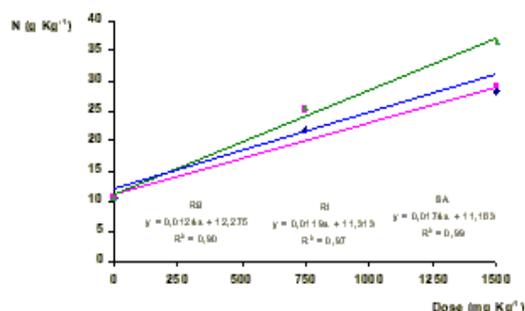


Figura 2 - (b) Concentração de N na folha no solo LF tratado com resíduos da apara de couro

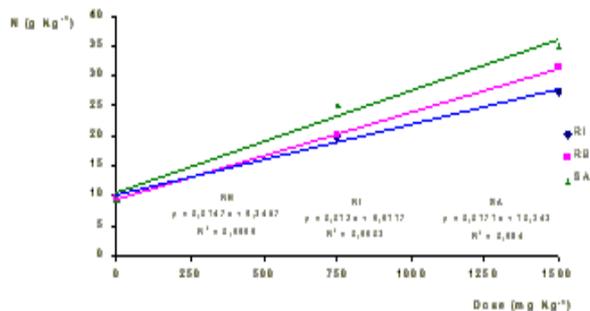


Figura 3 - (c) Concentração de N na folha no solo LVA tratado com resíduos da apara de couro

Com relação ao teor total de N na parte aérea, a análise estatística revelou que houve diferença significativa entre solos, fontes de N e para as doses empregadas. A quantidade de N absorvida em todos os tratamentos foi maior no solo LF que no solo LVA, provavelmente pela maior produção de matéria seca produzida nesse solo. Quanto às fontes de N, considerando-se os dois solos e todas as doses empregadas, não houve diferença estatística entre os materiais estudados cujos dados são revelados na Tabela 5. Entretanto, verificando-se cada solo individualmente, nota-se que, para o solo de maior fertilidade (LF) a absorção de N foi significativamente maior para a fonte SA que para os dois adubos de resíduos estudados, conforme as Tabelas 6 e 7.

Fontes de N	Médias
Italiano	409 <sup>a</sup>
Brasileiro	412 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	446 <sup>a</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 5 Acúmulo de N pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas aos solos Latossolo Férrico e Latossolo Vermelho Amarelo, em mg/vaso. Média das três doses.

Fontes de N	Médias
Italiano	428 <sup>a</sup>
Brasileiro	420 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	516 <sup>b</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 6. Acúmulo de N pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas ao solo Latossolo Férrico, em mg/vaso. Média das três doses.

Fontes de N	Médias
Italiano	390 <sup>a</sup>
Brasileiro	404 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	377 <sup>a</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 7. Acúmulo de N pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas ao solo Latossolo Vermelho Amarelo, em mg/vaso. Média das três doses.

É interessante observar que, enquanto a fonte mineral (SA) apresentou um N mais disponível no solo LF, o inverso ocorreu no solo LVA, provavelmente devido a um atraso no crescimento do milho observado na dose 1500 mg N/vaso, que contribuiu para uma produção menor de matéria seca nessa dose, no solo LVA. Esse atraso no crescimento provavelmente foi devido ao excesso do íon amônio adicionado nessa dose, no início do experimento.

Com relação às doses, a análise de regressão indicou um comportamento quadrático para todas as fontes estudadas, nos dois solos sob investigação (Tabelas 8 e 9).

Fontes de N	equação
Resíduo italiano	$y = 194 + 0,5408 x - 0,00018x^2$
Resíduo brasileiro	$y = 194 + 0,5327 x - 0,00018x^2$
Sulfato de amônio	$y = 194 + 0,6385 x - 0,00017x^2$

Tabela 8. Equações de regressão para o acúmulo de N pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas ao solo Latossolo Férrico, onde y = quantidade de N na matéria seca, em mg/vaso e x = dose de N adicionada ao solo, em mg/vaso.

Fontes de N	equação
-------------	---------

Resíduo italiano	$y = 93 + 0,5853 x - 0,00015x^2$
Resíduo brasileiro	$y = 93 + 0,5581 x - 0,00011x^2$
Sulfato de amônio	$y = 93 + 0,8955 x - 0,00041x^2$

Tabela 9. Equações de regressão para o acúmulo de N pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas ao solo Latossolo Vermelho Amarelo, onde y = quantidade de N na matéria seca, em mg/vaso e x = dose de N adicionada ao solo, em mg/vaso.

### 4.3 Índice de eficiência agronômica (%)

Com base no acúmulo de N na parte aérea do milho, calculou-se o IEA para as fontes de N estudadas, cujos resultados estão na Tabela 10. Os índices obtidos mostram que os valores foram maiores para o solo LVA e passaram de 100% na dose 2 empregada. Os altos índices nessa dose foram devido ao menor crescimento do milho no tratamento com sulfato de amônio, o que refletiu na absorção total de N pelo milho. Assim, consideraremos apenas os IEA obtidos para a dose 1 como mais próximos da realidade para os adubos de resíduos estudados. Dessa forma, a média dos dois solos mostra um IEA em torno de 79% para os dois adubos de resíduos, o que confere uma alta disponibilidade de N para as plantas, já no primeiro ano de aplicação dos mesmos ao solo.

Fontes de N	Dose	Solo		
		LF	LVA	Média
Resíduo italiano	1	78,7	80,6	79,7
	2	68,7	130,3	99,5
Resíduo brasileiro	1	76,7	80,7	78,7
	2	65,6	140,3	103,0

Tabela 10. Índices de Eficiência Agronômica para os resíduos testados em dois tipos de solos.

### 4.4 Absorção de cálcio e de magnésio

A análise de variância revelou que houve maior acúmulo de Ca pela parte aérea do milho no solo LF e que os tratamentos com os adubos de resíduos forneceram mais Ca para o milho que o tratamento com a fonte mineral (Tabela 11).

Fontes de N	Médias
Italiano	116 <sup>a</sup>
Brasileiro	114 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	89 <sup>b</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 11. Acúmulo de Ca pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas aos solos Latossolo Férrico e Latossolo Vermelho Amarelo, em mg/vaso. Média das três doses.

Com relação ao magnésio, a análise de variância destacou também uma maior disponibilidade desse elemento no solo LF em comparação ao solo LVA, de fertilidade mais baixa. A análise revelou ainda, que os adubos de resíduos foram eficientes em fornecer Mg para o milho no solo LF (Tabela 12) que para o solo LVA (Tabela 13).

Fontes de N	Médias
-------------	--------

Italiano	93 <sup>a</sup>
Brasileiro	82 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	86 <sup>a</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 12. Acúmulo de Mg pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas ao solo Latossolo Férrico, em mg/vaso. Média das três doses.

Fontes de N	Médias
Italiano	65 <sup>a</sup>
Brasileiro	62 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	43 <sup>b</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 13. Acúmulo de Mg pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas ao solo Latossolo Vermelho Amarelo, em mg/vaso. Média das três doses.

Esses resultados indicam que os adubos de resíduos de apara de couro foram uma fonte importante de cálcio e de magnésio para o solo de baixa fertilidade e poderá também suprir esses elementos às plantas, além do nitrogênio.

#### 4.5 Acúmulo de crômio na parte aérea

A análise de variância revelou um alto coeficiente de variação, 65%, provavelmente devido aos baixos valores de concentração encontrados para esse elemento no tecido vegetal. Mesmo assim, houve significância para os solos, indicando que esse elemento foi mais disponível no solo LF que no solo LVA. Com relação às fontes de N, houve diferença estatística apenas quando se considerou os dois solos juntos, onde o tratamento com adubo de resíduo italiano forneceu mais Cr disponível para a solução do solo (Tabela 14).

Fontes de N	Médias
Italiano	13,3 <sup>a</sup>
Brasileiro	9,8 <sup>ab</sup>
Sulfato de amônio	7,3 <sup>b</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 14. Acúmulo de Cr pela parte aérea do milho em função das fontes de N aplicadas aos solos Latossolo Férrico e Latossolo Vermelho Amarelo, em mg/vaso. Média das três doses.

#### 4.6 Concentração de Cr nas raízes

A análise de variância mostrou um alto coeficiente de variação (42%) e indicou também que houve diferenças nas concentrações de Cr nas raízes do milho em relação ao tipo de solo, onde o solo LF proporcionou uma maior absorção desse elemento, em comparação ao solo LVA. As concentrações de Cr nas raízes do milho cultivado nos tratamentos com os adubos de resíduos da apara de couro foram significativamente maiores que no tratamento controle, indicando que esse elemento está numa forma disponível às plantas e se concentra mais nas raízes que na parte aérea, conforme a Tabela 15.

Fontes de N	Médias
Italiano	43,6 <sup>a</sup>
Brasileiro	41,3 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	10,6 <sup>b</sup>

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 15. Concentração de Cr nas raízes do milho em função das fontes de N aplicadas aos solos Latossolo Férrico e Latossolo Vermelho Amarelo, em mg/kg. Média das três doses.

Para os adubos de resíduos, a absorção de Cr foi linear com a dose empregada, sem distinção para os dois tipos de solo empregados (Tabela 16).

Fontes de N	Dose 1	Dose 2
Italiano	42,3 <sup>a</sup>	69,7 <sup>a</sup>
Brasileiro	39,8 <sup>a</sup>	65,4 <sup>a</sup>
Sulfato de amônio	7 <sup>b</sup>	5,9 <sup>b</sup>

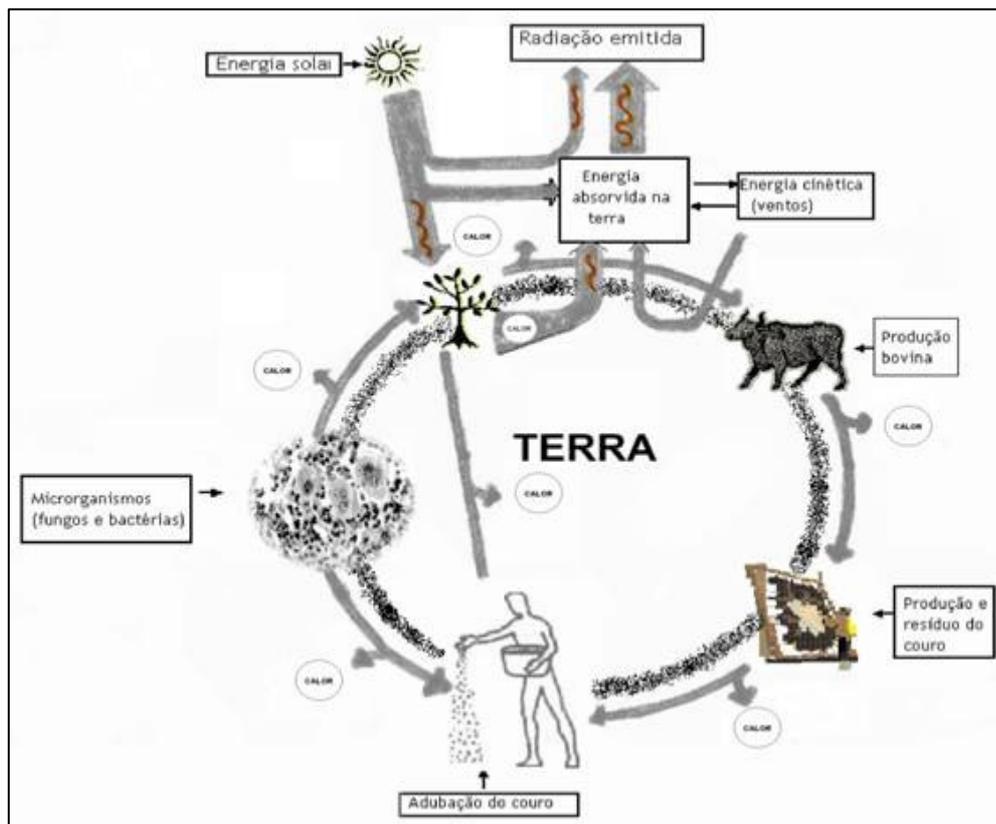
Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si o nível de 5% ou 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 16. Concentração de Cr nas raízes do milho em função das fontes de N aplicadas aos solos Latossolo Férrico e Latossolo Vermelho Amarelo, em mg/kg

Quanto aos demais nutrientes e elementos potencialmente tóxicos presentes nos adubos de resíduos, não se observaram diferenças significativas entre as quantidades absorvidas e as fontes de N avaliadas nesse ensaio.

#### **4.7 Dinâmica do adubo de aparas de couro**

Na dinâmica energética do adubo com o meio ambiente, onde o termo calor foi usado num sentido muito restrito, como porção de fluxo através da radiação solar em trabalho e analisado empiricamente, conforme o diagrama ilustrado na Figura 4.



Fonte: Adaptado de Figueiredo, 1995.

Figura 4 – A dinâmica energética do adubo com o meio ambiente

Partindo da primeira lei da termodinâmica, a radiação solar que incide sobre a superfície terrestre deixa uma quantidade de energia disponível. Essa energia aquece o ar e é utilizada pelas plantas. Estas, utilizam uma pequena parte de energia para a fotossíntese e o restante para a transpiração. Através da fotossíntese clorofiliana, elas convertem a luz solar em energia química, utilizando a água, o anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ), e alguns compostos presentes no solo para sintetizar a celulose, os açúcares, os amidos, as proteínas, as gorduras e todas as demais substâncias necessárias ao seu desenvolvimento (TRONCONI et al., 1991). Com este mecanismo realizam trabalho e transferem o calor para os animais que necessitam desses vegetais para sua sobrevivência, e que também liberam calor.

Os animais obtêm a energia sob a forma de alimento das substâncias existentes nos vegetais, algumas das quais são ricas em energia química. Os processos metabólicos extraem dos alimentos a energia solar contida e armazenada, além das substâncias necessárias à vida dos animais. Estes, consomem alimento e converte energia que contém elevado conteúdo de energia química interna e, através de reações químicas e biológicas, liberam parte da energia interna da matéria consumida, transformando-na em trabalho. O metabolismo dos animais permite converter diretamente a energia interna dos alimentos em atividade bioelétrica, isto é, em trabalho elétrico. Entre esses animais, destaca-se o boi, que após o seu desenvolvimento é restituído ao ambiente sob a forma de rejeitos e de matéria prima para as indústrias de curtumes e de alimentos. Esses rejeitos em especial o do couro são transformados em adubos colocados no solo pelo homem, que por sua vez realiza trabalho mecânico e transfere energia sob forma de calor.

Os microrganismos se alimentam desse adubo e realizam trabalho, liberam micro e macronutrientes para os vegetais e também liberam calor para a terra. Estes são posteriormente transformados, por meio da atividade dos microrganismos, tornando assim tais matérias novamente disponíveis para o metabolismo dos vegetais.

Graças à fotossíntese, antes que a radiação solar se perca como calor, as plantas utilizam-na para armazenar energia nas moléculas dos carboidratos. Assim, a energia solar pode ser acumulada, conservada e ficar acessível para os animais que retiram energia do seu alimento ou liberada, se for o caso, na combustão dos vegetais (TRONCONI et al., 1991).

## 5. Conclusões

1. Os dois adubos de resíduos testados foram eficientes como fontes de nitrogênio para o milho, com um IEA de 79,7% e 78,7% para os adubos de resíduos italiano e brasileiro, respectivamente.
2. Os dois adubos de resíduos avaliados também atuaram como uma fonte de cálcio e de magnésio para as plantas de milho.
3. O cromo III presente no adubo de resíduo é disponível para as plantas, concentrando-se principalmente nas raízes do milho. A absorção não interferiu no desenvolvimento da parte aérea das plantas.
4. O aproveitamento energético, através da reciclagem, significa a diminuição da carga poluidora lançada no ambiente, contribuindo para o aumento da vida útil das unidades de tratamento de efluentes e disposição final existentes e, ainda, colaborando com a minimização dos impactos decorrentes da produção e uso de energia.

## 6. Referências bibliográficas

BORGES, J. D. *Efeitos do lodo de curtume nas culturas do milho (Zea mays L.) e do capim braquiarião [Brachiaria brizanta (Hochst ex A. Rick) Sapf.] cultivar Marandu em latossolo vermelho-amarelo*. 244 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Goiânia, Goiás, 2003.

FIGUEIREDO, P. J. M. *A Sociedade do Lixo: Os resíduos, a questão energética e a crise ambiental*; prefácio de A. Oswaldo Sevá Filho. 2ª edição. Piracicaba; Editora Unimep, 1995.

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

JOST, P. T. *Tratamentos de efluentes de curtumes*. Rio de Janeiro: Senai, 1989. 185 p.

LAHOUTI, M.; PETERSON, P.J. *Chromium accumulation and distribution in crop plants*. Journal of the Science of food and agriculture, v.30, p.136-142, 1979.

MARQUES, M.O. *O Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura*. In: TSUTIYA, M.T. et al. eds, *Biossólidos na agricultura*, São Paulo, SP: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. P. 365-402

MARTINES, A.M. *Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo*/ Alexandre Martin Martines. Piracicaba, 2005. 62 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

---

RAIJ van B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Instituto Agrônomo de Campinas (SP), 2001.

SELBACH, P.A.; TEDESCO, M.J; GIANELLO, C.; CABALLET, L.E. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. **Revista do Couro**, v.4, p.51-62, 1991.

TRONCONI, P. A.; VALOTA, R.; AGOSTINELLI, M.; RAMPI, F. *Pianeta in Prestito. Energia, Entropia, Economia*. Editora Macroedizioni, Preggio. 1991.

---