

USO DE MODELOS DE TRANSFERÊNCIA DE METAL PESADO E DE CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO DE COMPOSTO DE LIXO URBANO

Fábio César da SILVA

Pesquisador, Embrapa /CNPTIA/Campinas-SP.
E-mail: fcesar@cnptia.embrapa.br

Laércio Luis VENDITE

Professor doutor, UNICAMP/IMECC/ Campinas- SP.
E-mail: vendite@ime.unicamp.br

Alessandra Fabíola BERGAMASCO

Bolsista Fapesp, Zootecnista, Embrapa /CNPTIA.
E-mail: afb@cnptia.embrapa.br

1. RESUMO

A pesquisa aborda o manejo de composto de lixo na cana-de-açúcar como fertilizante alternativo e como solução social e ambiental ao acúmulo de resíduos, utilizando-se 2 modelos matemáticos para apoio à decisão, visando o estabelecimento de critérios e procedimentos para seu uso, limitado pela quantidade de metais pesados e riscos ambientais existente. Primeiro foi construído um Modelo Compartimental, inédito, que descreveu a transferência de metais pesados no sistema solo-raiz-parte aérea da cana, demonstrando que o metal mais preocupante é o Ni, pois demora aproximadamente 3 anos para ser atenuado no solo e chegou em maior quantidade na parte aérea, e quanto aos fatores argila, óxidos e pH do solo, notou-se que nos solos de maior poder tampão, a passagem da maioria dos metais foi mais lenta, cujas conclusões foram obtidas a partir de softwares de simulação onde foram testados os modelos. O Modelo de Crescimento de Índice de Área Foliar foi retirado da literatura e adaptado à esse estudo de cana-de-açúcar adubada com CL, através do ajuste não linear pelo software SAS, posterior simulação e validação, demonstrando um ponto máximo de crescimento próximo aos 180 dias, e não diferenciação no crescimento com as diferentes dosagens de CL adicionadas.

Palavras-chave

Composto de lixo, Cana-de-açúcar, Modelo matemático, Meio ambiente

2. INTRODUÇÃO

Os lixos urbanos, causam diversos prejuízos à população e ao meio ambiente, tornando-se um problema governamental, que está se agravando devido ao crescimento populacional e a rápida urbanização. Uma maneira de solucionar esse problema é através da compostagem do lixo domiciliar, do qual origina-se o composto de lixo (CL), sendo o uso na agricultura a melhor opção para sua disposição final, como fertilizante e/ou condicionador das propriedades físicas do solo, pois estes são fontes de nutrientes e de matéria orgânica. Mas devemos estar

atentos para o fato de que este CL pode vincular metais pesados, fator limitante de seu uso, pois podem entrar gradualmente e acumular-se na cadeia alimentar chegando até ao homem (Kabata - Pendias & Pendias, 1986).

A informatização de processos de suporte à decisões sobre o uso do CL nas diversas culturas e, em especial, pelo emprego de Modelos Matemáticos em cana-de-açúcar, podem minimizar riscos ambientais, os custos de produção e proporcionar maior sustentabilidade do planejamento agrícola, sem prejudicar o ambiente. Isso ocorre porque os modelos permitem visualizar, por simulação numérica, as melhores opções de taxas, áreas e de uso do composto sobre a produtividade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados 3 experimentos com cana-de-açúcar adubando-a com CL, sendo 2 em condições controladas e 1 em campo, e em todos eles, os solos foram separados em classes de acordo com os teores de óxidos de Fe e Al, teor de argila e pH, com objetivo do estudo da interferência desses fatores nas concentrações de metais pesados e simular modelos dentro de variáveis homogêneas.

O experimento 1 estudou a disponibilidade de metais pesados no tempo incubando-se CL (0, 25, 50 e 100 T/ha), em 5 períodos (0, 16, 32, 64 e 100 dias). O Experimento 2 estudou a dinâmica de metais pesados no sistema solo-planta incubando-se CL enriquecido com 5 níveis de metais pesados. O Experimento 3 estudou o desenvolvimento da cana-de-açúcar sob adubação de CL + PK.

3.1. MODELO DE TRANSFERÊNCIA DE METAL PESADO NO SISTEMA SOLO-PLANTA

Na modelagem matemática do sistema solo-planta, foi construído um modelo de transferência de metais pesados, com base nos modelos compartimentais (Bassanezi & Ferreira, 1988), para o qual foi necessário a criação de hipóteses suplementares em relação as taxas de passagem do metal pesado pelos compartimentos, os quais foram: o solo, a raiz e a parte aérea (colmos + folhas). Considerou-se um simples modelo determinístico de equações diferenciais lineares para descrever a dinâmica da disponibilidade de cada metal (Cd, Cu, Ni e Pb) no solo e o grau de absorção desse metal pela raiz:

$$dM_1/dt = -\lambda.M_1 - \alpha.M_1$$

$$dM_2/dt = + \alpha.M_1 - \beta.M_1$$

$$dM_3/dt = + \beta.M_1$$

M → Fonte de metal pesado (Composto de lixo)

M₁ → concentração do metal pesado no solo no instante t;

M₂ → concentração do metal pesado na raiz no instante t;

M₃ → concentração do metal pesado na parte aérea da cana-de-açúcar no instante t;

λ → velocidade do decaimento do metal pesado (taxa constante);

α → taxa de translocação do metal do solo para a raiz (taxa de absorção da raiz);

β → taxa de translocação do metal da raiz à parte aérea.

E com a seguintes condições iniciais:

$$M_1(0) = C, M_2(0) = 0, M_3(0) = 0, C = \text{Quantidade do metal no CL, mg/kg}$$

Solução 1: $M_1(t) = C \cdot e^{-(\lambda+\alpha)t}$

Solução 2: $M_2(t) = \frac{\alpha \cdot C}{\beta - (\lambda + \alpha)} \cdot [e^{-(\lambda+\alpha)t} - e^{-\beta \cdot t}]$

Solução 3: $M_3(t) = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot C}{\beta - (\lambda + \alpha)} \cdot \left[\left(\frac{1}{\beta} \right) e^{-\beta \cdot t} - \left(\frac{1}{\lambda} + \alpha \right) e^{-(\lambda+\alpha)t} \right] + \frac{\alpha \cdot C}{\lambda + \alpha}$

Para estimativa dos parâmetros do modelo (α , β e λ) foram utilizados os dados reais obtidos nos experimentos 1 e 2, realizado-se um ajuste pelo SAS. Os valores iniciais necessários à convergência dos parâmetros foram obtidos através do parâmetro b do modelo linear: $X=M_1$ e $Y=M_2$, indicando a taxa de passagem do metal do solo para a raiz, e o valor de b do modelo linear: $X=M_2$ e $Y=M_3$, indicando a taxa de passagem do metal da raiz à parte aérea da cana, cujos valores são, respectivamente, α e β do modelo. Quanto ao parâmetro “ λ ”, este valor inicial foi conseguido através do Experimento 1, com modelos lineares: $Y = \text{teor de metal no solo}$ e $X = \text{tempo de incubação do metal no solo}$, cujo valor “ b ” deste modelo linear indica a taxa de decaimento do metal no solo. Como primeiro passo foram determinados valores para $\lambda + \alpha$, através da Solução 1:

$$M_1(t) = C \cdot e^{-(\lambda+\alpha)t} \longrightarrow \lambda + \alpha = \chi \longrightarrow \chi = \frac{(\ln(C) - \ln(M_1))}{t}$$

Após obtidos os valores de X , chegou-se a um modelo de M_3 em função da variável M_2 (Solução 4), para estimativa do parâmetro α ; e para estimativa de β , resolveu-se a equação de M_2 (solução 5):

Solução 4: $M_3 = \left(\frac{\alpha \cdot C}{\lambda + \alpha} \right) (1 - e^{-(\lambda+\alpha)t}) - M_2$

Solução 5: $M_2(t) = \frac{\alpha \cdot C}{\beta - (\lambda + \alpha)} \cdot [e^{-(\lambda+\alpha)t} - e^{-\beta \cdot t}] \rightarrow \beta = \frac{(\lambda + \alpha) \cdot M_2 + \alpha \cdot C \cdot e^{-(\lambda+\alpha)t}}{M_2 + \alpha \cdot C \cdot t}$

3.2. MODELO DE CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR ADUBADA COM CL

A variável de crescimento ajustada, foi o índice de área foliar (IAF), que é um ótimo indicativo de crescimento e produtividade da cana-de-açúcar, pois após a germinação inicia-se o desenvolvimento das folhas, que são as responsáveis diretas pela

transformação da energia solar em energia química através da fotossíntese (Barbieri, 1993).

A determinação do IAF foi realizada para cada tratamento através da equação:

$$IAF (m^2/m^2) = \text{área foliar de uma cana } (m^2) * \text{perfilhos } (m^2)$$

$$AF = (\text{área da amostra} * \text{peso total das folhas}) / \text{peso de uma amostra}$$

Com os dados de temperatura máxima e mínima calculou-se os valores de graus-dia para cada período de 24 horas, pelas seguintes equações (Inman-Bamber, 1993):

- Para $T_m > T_b$: $GD = ((T_{máx} + T_m)/2) - T_b$

Para $T_m \leq T_b$: $GD = (T_{máx} - T_b)^2 / (2 * (T_{máx} - T_m))$,

Sendo: GD = graus-dia; $T_{máx}$ = temperatura máxima; T_m = temperatura mínima; T_b = temperatura base

A equação do modelo aqui proposto é: $IAF = e^a * (\sum GD)^b * e^{c * \sum GD}$

Onde, IAF = Índice de área foliar (m^2/m^2); a , b e c = parâmetros do modelo; $\sum GD$ = somatório de graus-dia

Esse modelo foi ajustado utilizando-se o procedimento não linear do SAS, fornecendo-se valores dos IAF (Experimento 3) para cada somatório de graus-dia, resultando em valores de parâmetros para cada um dos 16 tratamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MODELO DE TRANSFERÊNCIA DE METAL PESADO NO SISTEMA SOLO-PLANTA

Com os valores dos parâmetros α , β e λ , foram realizadas simulações para determinação de valores preditos de M_1 , M_2 e M_3 em várias épocas (t), para estimativa do comportamento do metal pesado no tempo (Figura 1).

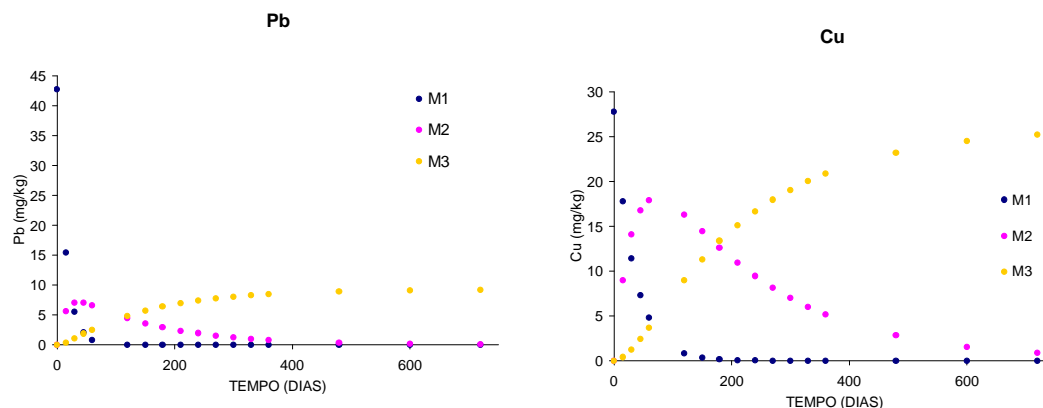


Figura 1. Modelo compartimental de transferência de metal pesado no sistema solo planta para os metais Chumbo e Cromio, em solos A, sob adubação do nível 1 de CL.

Primeiro Ponto Crítico: Extinção de M_1 , quando $t \rightarrow \infty \quad M_1 \rightarrow 0$

A curva para os teores de Pb nos solos A possui uma rápida queda, chegando a extinção antes de 200 dias após ser adubado, e nos solos da classe B, essa queda é mais lenta, ficando entre 200 dias e 1 ano. O metal Ni, possui uma queda acentuada apenas quando o solo é adubado com nível 1, chegando este teor a extinção no compartimento solo antes de um ano após a adubação, enquanto que nos outros níveis, esse tempo ultrapassa os 3 anos, assim como o Cd. Para o Cu, a queda de M_1 foi mais lenta quando utilizado o nível 5 nos solos classe B, chegando a zero próximo de 600 dias.

Segundo Ponto Crítico: Ponto máximo de M_2

O tempo onde ocorre o maior valor de metal na raiz da planta é dado por: $t^* = \frac{\ln\left(\frac{\beta}{\lambda + \alpha}\right)}{-\beta + \alpha + \lambda}$

Quanto ao teor de Pb, o ponto máximo ocorre em média, aos 49 dias após a adubação para os solos da classe A e aos 60 dias para os solos classe B. Para o Ni, os solos B mostraram um crescimento mais lento de metal na raiz, sendo que o ponto máximo ocorreu, em média, aos 234 dias e nos solos A, 128 dias. Também para o metal Cd, os solos B mostraram um crescimento mais lento. Nos níveis 1 ocorre uma maior velocidade de transferência de Cd para a raiz, chegando ao ponto máximo em 48 dias nos solos A e 85 nos solos B, e em todos os casos, M_2 só chega a 0 após aproximadamente 2 anos, então, ao final do ciclo de cana de ano e meio, ainda existiria metal disponível para a parte aérea .

Terceiro Ponto Crítico: Ponto em que M_3 se estabiliza

$M_3 \Rightarrow$ é crescente e se estabiliza em $\frac{\alpha.C}{\lambda + \alpha}$ Quando: $t \rightarrow \infty \quad M_3 \rightarrow \frac{\alpha.C}{\lambda + \alpha}$

Entre os níveis de Pb adicionado ao CL e utilizados como adubos, não foram encontradas diferenças significativas através dos modelos quanto ao comportamento deste metal na parte aérea da cana-de-açúcar, cujo teor cresce com o aumento desse e em todos eles, quando a cana completa um ano de idade, o teor de Pb na parte aérea (M_3), já está praticamente estabilizado. Já no Ni, quando aplicado o nível 1, o crescimento de M_3 é rápido, se estabilizando próximo a 400 dias, isto é, quando está no momento de corte. A quantidade de Cd na parte aérea da cana, nos níveis 1 dos

solos A e B, foi bem baixo, , nos níveis 2 do solo A, e 4 e 5 dos solos B, esse teor na parte aérea chega a 99% de C. O teor de Cu na parte aérea é preocupante, pois ele se estabiliza próximo a 99% do teor adicionado, e o cuidado deve ser maior ainda, pois esse compartimento atinge esses altos teores, próximo aos 365 dias, que é a época de corte da cana-de-açúcar.

4.2. MODELO DE CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO DE CL

Os modelos de crescimento da cana-de-açúcar, com o valor dos parâmetros obtidos para cada tratamento foram simulados e estão demonstrados na Figura 2 abaixo.

O vigor vegetativo mais elevado foi encontrado em cana adubada com CL suplementado com PK e nas dosagens de 0 e 60 t/há, com o IAF atingindo valores entre 7,5 e 9,5 m²/m², sendo que, com um somatório de menos de 400 GD já ocorreu um IAF maior que 4, o suficiente para interceptar pelo menos 95% da radiação solar e o IAF se mantém maior que 4 por um maior período (maior que 250 dias) na cana sem aplicação de CL, apenas PK. O IAF máximo atingido foi mais precoce na cana que recebeu tratamento com CL e com alguma suplementação, ficando esse ponto máximo em torno dos 90 dias (aproximadamente 600 GD).

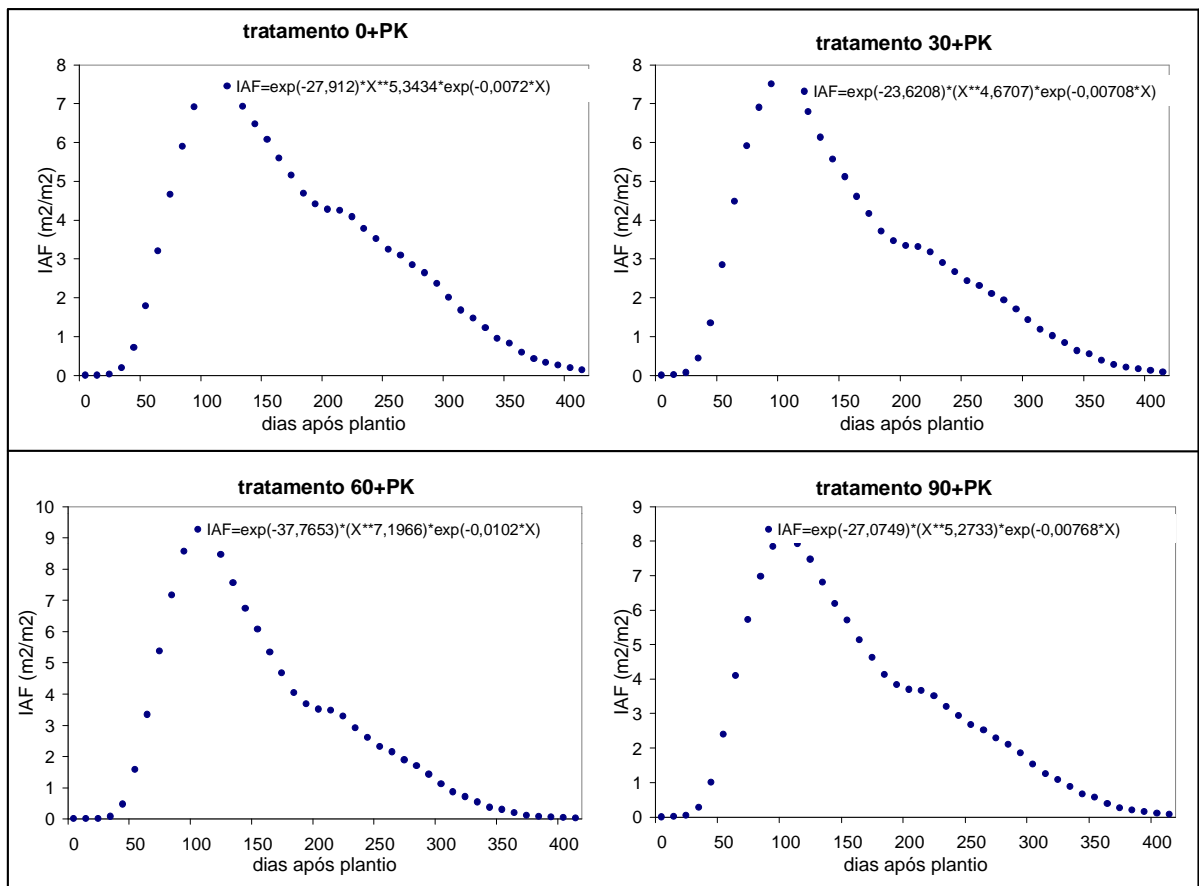


Figura 2. Modelo de crescimento da cana-de-açúcar para os tratamentos de 0, 30, 60 e 90 t/há de CL suplementados com PK

5. CONCLUSÕES

- Quanto ao teor de metal no solo, o mais preocupante é o Ni, pois, com exceção do nível 1, demora aproximadamente 3 anos para este teor ser extinto do solo (atingindo assim a cana soca), e o que possui decaimento mais rápido é o Chumbo;
- Quanto ao teor na raiz, o Cobre é o que apresenta maior ponto máximo, mas o que atinge esse ponto mais rápido é o Pb, e o que demora mais a atingi-lo é, também, o Ni;
- Na parte aérea, o metal que chegou em maior quantidade foi o Ni, e por último o Pb, mas o metal que mostrou o crescimento mais acentuado foi o Pb, chegando próximo a seu máximo antes do momento de corte da cana, quando analisado o modelo matemático;
- Quanto a interferência dos teores de argila, óxidos e pH do solo na transferência desses metais no sistema, notou-se que nos solos classificados como B, com maior poder tampão, a passagem da maioria dos metais pelos compartimentos foi mais lenta, assim como a queda de seus teores no solo e na raiz.
- O vigor vegetativo mais elevado foi encontrado em cana adubada com CL suplementado com PK e nas dosagens de 0 e 60 t/ha.
- O IAF máximo atingido foi mais tardio na cana que recebeu tratamento com CL sem suplementação mineral, ficando esse ponto por volta de 120 dias (aproximadamente 800 GD).
- Os modelos matemáticos aqui descritos podem servir como base à formulação de normas de uso do CL, podendo estimar quantidades de cada metal em cada parte da planta nos diversos cenários estudados e predizer o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa. Piracicaba/SP, 1993. 142p. Tese (Doutorado) – ESALQ.
- BASSANEZI, R. C. & FERREIRA, W. C. Jr. Equações Diferenciais com aplicações. Ed. Harbra, 1988. 572 p.
- INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. *Field Crops Research*, 36:41-51. 1993.
- KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, CRC Press, 1986. 315 p