

Foto: Maria Augusta Garcia



ISSN 1677-8464

Modelo de Crescimento da Cana-de-Açúcar sob Adubação de Composto de Lixo Urbano

Fábio Cesar da Silva ¹
Alessandra Fabíola Bergamasco ²
Laércio Luis Vendite ³
Marco Antonio Azeredo Cesar ⁴
Ariovaldo Faustino Soares da Silva ⁵

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

O Brasil, há pouco tempo, foi líder mundial no cultivo da cana-de-açúcar, como também, na produção de açúcar e álcool combustível, mas hoje está im-

portando açúcar e a produção de álcool mal dá para a mistura da gasolina, enquanto que países como a Austrália, África do Sul, China, Malásia e Tailândia passaram a ser os maiores produtores de açúcar e de álcool (Matsuoka, 2000). O motivo para ter ocorrido essa inversão de hegemonia, segundo os analistas do setor, é a falta de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Uma ferramenta importante a ser descrita para o processo evolutivo da cultura da cana-de-açúcar é a construção de Modelos Matemáticos que possibilitam o estudo de sistemas reais complexos, os quais exigem modelos com integração coerentes, banco de dados contendo informações experimentais e edafo-climáticas, além do potencial genético da cultura. Bassanezi & Ferreira Junior (1988) definem Modelo Matemático como um sistema de equações obtido da análise e abstração de situações problemas com a escolha devida

¹ Eng. Agr., Dr., Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo, 13083-970 – Campinas, SP. (fcesar@cnptia.embrapa.br)

² Zootecnista, Bolsista Fapesp, Embrapa Informática Agropecuária. (afb@cnptia.embrapa.br)

³ Prof. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Unicamp, Caixa Postal 6065, 13083-970 – Campinas, SP. (vendite@ime.unicamp.br)

⁴ Prof. Dr., Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-970 – Piracicaba, SP. (maacesar@carpa.ciagri.usp.br)

⁵ M.Sc., Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-970 – Piracicaba, SP. (afsilva@zipmail.com.br)

das variáveis e suas relações. A informatização de processos de suporte a decisões, em especial pelo emprego de Modelos Matemáticos, podem minimizar riscos ambientais, reduzindo os custos de produção e proporcionar maior sustentabilidade do planejamento agrícola, pois maximiza o uso dos recursos naturais sem prejudicar o ambiente.

Assim, o objetivo desse trabalho foi o oferecimento de uma solução para a disposição final do lixo urbano, através de sua utilização na agricultura como forma alternativa de fertilização, utilizando-se para isso, a ferramenta de modelagem matemática do crescimento da cana-de-açúcar adubada com CL, a partir do qual pode-se estimar o crescimento e rendimento agrícola potencial; visualizar as melhores opções de taxas, áreas e de uso de CL sobre o crescimento da cana, sem causarem impactos negativos ao ambiente através da previsão, criando-se vários cenários possíveis, tudo isso a um baixo custo e em tempo reduzido.

Material e Métodos

Experimento para obtenção de dados

Para o estudo da maturação da cana-de-açúcar sob adubação do composto de lixo foi conduzido um experimento envolvendo aplicação de doses crescentes de CL (0, 30, 60 e 90 t.ha⁻¹) combinado a suplementação P, K e PK, instalado no município de Piracicaba, SP, na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), em Terra Roxa Estruturada.

O delineamento experimental foi de fatorial, segundo Gomes (1985), com 16 tratamentos e 3 repetições, totalizando 48 parcelas, com uma área efetiva de amostragem de 23,4m². Os tratamentos foram:

- T₀₁ = Testemunha
- T₀₂ = P (120 kg.ha⁻¹)
- T₀₃ = K (120 kg.ha⁻¹)
- T₀₄ = PK
- T₀₅ = 30t.ha⁻¹ de composto de lixo
- T₀₆ = 60t.ha⁻¹ de composto de lixo
- T₀₇ = 90t.ha⁻¹ de composto de lixo
- T₀₈ = 30t.ha⁻¹ de composto de lixo + P
- T₀₉ = 60t.ha⁻¹ de composto de lixo + P
- T₁₀ = 90t.ha⁻¹ de composto de lixo + P
- T₁₁ = 30t.ha⁻¹ de composto de lixo + K
- T₁₂ = 60t.ha⁻¹ de composto de lixo + K
- T₁₃ = 90t.ha⁻¹ de composto de lixo + K
- T₁₄ = 30t.ha⁻¹ de composto de lixo + PK
- T₁₅ = 60t.ha⁻¹ de composto de lixo + PK
- T₁₆ = 90t.ha⁻¹ de composto de lixo + PK

As fontes dos fertilizantes empregadas foram: sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio, tendo suas dosagens calculadas em função das

recomendações contidas no Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (Raij et al., 1985). Tanto os fertilizantes químicos como o CL foram aplicados de uma só vez no sulco de plantio.

Os dados obtidos para calibração e validação do modelo de crescimento da cana-de-açúcar foram área foliar em m², número de perfilhos, também em m², área da amostra, peso total das folhas e peso de uma amostra, cujos dados foram necessários no cálculo do Índice de Área Foliar (IAF), em m² de área foliar/m² de área, o qual foi utilizado no modelo. Além disso foram mensuradas as temperaturas diárias (máximas e mínimas), para cálculo de graus-dia, também importante no modelo de crescimento, cujas equações estão descritas a seguir.

Modelo de crescimento

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:

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

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

Onde,

IAF = Índice de Área Foliar em m² de área foliar/m² de área

AF = área foliar

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

1) Para T_m > T_b:

$$GD = ((T_{\text{máx}} + T_m)/2) - T_b$$

2) Para T_m ≤ T_b:

$$GD = (T_{\text{máx}} - T_b)^2 / (2 * (T_{\text{máx}} - T_m))$$

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 (m²/m²)

a, b e c = parâmetros do modelo

∑GD = somatório de graus-dia

Esse modelo foi ajustado utilizando-se o procedimento não linear do SAS (SAS..., 1990), fornecendo-se valores dos IAF para cada somatório de graus-dia, resultando em valores de parâmetros para cada um dos 16 tratamentos.

Para cálculo do máximo das funções, utilizou-se, para o Modelo de Crescimento (Teruel, 1996), o teorema de Rolle, onde verifica-se em que ponto a função muda de crescente para decrescente. Para isso, inicia-se o processo tomando-se um valor arbitrário (ΔX) de distanciamento de ponto, a partir desse valor inicial X, se acresce a ele o valor ΔX , verificando em cada ponto o sinal de ΔY . Quando há uma mudança de sinal, repete-se o processo tomando-se como ΔX o valor $\Delta X/2$ e como X inicial o X anterior a mudança de sinal. Repete-se esse processo até obter $|Y_{i+1} - Y_i| < 10^{-7}$ (Udo, 1993).

Resultados e Discussão

Os modelos de crescimento da cana-de-açúcar, com o valor dos parâmetros obtidos para cada tratamento estão descritos na Tabela 1, onde os coeficientes de determinação (R^2) obtidos, ficaram entre 98 e 99,99% para todos os tratamentos testados. Estes modelos foram utilizados na simulação do crescimento do IAF da cana de açúcar, e estão demonstrados na Fig. 1 os gráficos do comportamento da cana adubada com doses de 0, 30, 60 e 90 t.ha⁻¹ de CL e suplementação PK, cujos tratamentos apresentaram melhores resultados.

O vigor vegetativo mais elevado foi encontrado em cana adubada com CL suplementado com PK e nas dosagens de 0 e 60 t.ha⁻¹. Nestes tratamentos, o IAF atingiu 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. O IAF se manteve maior que 4 por um maior período (maior que 250 dias) na cana sem aplicação de CL, apenas PK.

Tabela 1. Valor dos parâmetros, para cada tratamento, do modelo: $IAF = e^a * (\sum GD)^b * e^c * \sum GD$.

Dose de CL	Suplemento	Parâmetros		
		a	b	c
0	0	-28,36399	5,36628	-0,006990
0	P	-38,00415	7,26194	-0,010357
0	K	-28,29763	5,40219	-0,007190
0	PK	-27,91200	5,34343	-0,007248
30	0	-26,21375	5,10774	-0,007418
30	P	-26,84598	5,19990	-0,007375
30	K	-23,24597	4,53907	-0,006417
30	PK	-23,62080	4,67067	-0,007078
60	0	-23,00214	4,45688	-0,005960
60	P	-30,75060	5,92602	-0,008478
60	K	-19,55248	3,83506	-0,005194
60	PK	-37,76528	7,19662	-0,010227
90	0	-24,16574	4,70384	-0,006500
90	P	-15,50438	3,12017	-0,004377
90	K	-33,39410	6,40608	-0,009126
90	PK	-27,07497	5,27327	-0,007679

O IAF máximo atingido foi mais tardio na cana que recebeu tratamento sem CL, ficando esse ponto máximo em torno dos 109 dias após o plantio (aproximadamente 754 GD), conforme pode ser visto na Tabela 2 (média dos dias após plantio na dosagem 0). Nota-se também, que a cana que apresentou máximo IAF mais cedo, foi a que recebeu dose de 30 t.ha⁻¹ de CL e suplementação PK.

Na Fig. 1, pode ser observado que o comportamento do crescimento de IAF da cana-de-açúcar é semelhante para as diferentes dosagens de CL, apresentando um crescimento rápido no período de 50 a 100 dias após o plantio, chegando a um ponto máximo conforme mostra a Tabela 2, que fica entre 100 e 110 dias após o plantio, e atingindo rapidamente o IAF de 4 m²/m², que é um valor importante, pois é quando a cana-de-açúcar pode interceptar pelo menos 95% da radiação solar.

Tabela 2. Pontos críticos de cada tratamento.

Dose de CL	Suplemento	Dap* onde o IAF é máximo	IAF máximo
0	0	112 dap*	6,7903
0	P	104 dap	10,169
0	K	110 dap	7,9465
0	PK	110 dap	7,5781
30	0	102 dap	7,8112
30	P	104 dap	7,8210
30	K	104 dap	7,3753
30	PK	98 dap	7,6200
60	0	109 dap	7,6351
60	P	103 dap	8,4690
60	K	108 dap	6,9651
60	PK	104 dap	9,2213
90	0	106 dap	8,1827
90	P	105 dap	6,5057
90	K	104 dap	8,8868
90	PK	102 dap	8,1360

* Dias após o plantio.

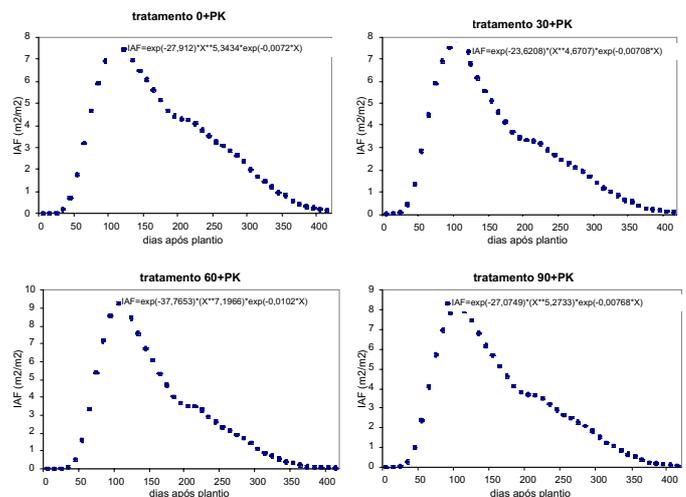


Fig. 1. Modelos ajustado de crescimento da cana-planta para os tratamentos com aplicação de composto de lixo nas doses de 0, 30, 60 e 90 t.ha⁻¹ e suplementação PK.

Nota-se, também, que o decaimento do IAF, através desse modelo, que mostra um excelente ajuste, é mais rápido até atingir o IAF em torno de $4 \text{ m}^2/\text{m}^2$, depois se torna menos acentuado. Observa-se, no primeiro gráfico da Fig. 1, cuja cana não recebeu adubação de CL, que esse decaimento do IAF é mais lento, permanecendo alto por mais tempo, o que é mais desejável.

Conclusões

1. O vigor vegetativo mais elevado foi encontrado em cana adubada com CL suplementado com PK e nas dosagens de 0 e 60 t.ha^{-1} .
2. O IAF máximo atingido foi mais tardio na cana que recebeu tratamento sem adubação de CL, ficando em torno de 110 dias após o plantio,
3. Comparando-se as dosagens de CL, o IAF foi mais tardio nos tratamentos que não possuíam suplementação mineral.
4. O IAF máximo foi mais precoce na cana adubada com 30 t.ha^{-1} de CL e suplementação PK.
5. Os maiores IAF foram encontrados na cana que recebeu dose 0 t.ha^{-1} de CL e suplementação P, e na cana adubada com 60 t.ha^{-1} de CL e suplementação PK.
6. O modelo de crescimento da cana-de-açúcar que não recebeu adubação de CL, mas recebeu suplementação PK, apresentou um decréscimo do Índice de Área Foliar menos acentuado, permanecendo altos por um maior período de tempo.

Conclui-se, assim, que o composto de lixo quando aplicado na cana-de-açúcar como um adubo alternativo, além de fornecer nutrientes e matéria orgânica, mostrou precocidade no máximo Índice de Área Foliar que a cana atinge, e elevado vigor vegetativo e obtêm-se melhores resultados quando o CL é suplementado com Fósforo e/ou Potássio. Os modelos matemáticos aqui descritos podem servir como base à formulação de normas de uso do CL, podendo prever o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, pois todos eles apresentaram altos coeficientes de determinação (todos ficaram entre 98 e 99,99%).

Referências Bibliográficas

- BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa.** 1993. 142 f. Tese (Dourado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BASSANEZI, R. C.; FERREIRA JUNIOR, W. C. **Equações diferenciais com aplicações.** São Paulo: Ed. Harbra, 1988. 572 p.
- GOMES, J. P. **Curso de estatística experimental.** 11.ed. São Paulo: Nobel, 1985. 466 p.
- INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, v. 36, p. 41-51, 1993.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants.** Boca Raton: CRC Press, 1986. 315 p.
- MATSUOKA, S. “Crack” do setor sucroalcooleiro. **STAB**, v. 18, n. 4, p. 22-23, mar./abr. 2000.
- RAIJ, B. van; SILVA, N. M. da; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI, JUNIOR. R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1985. 107 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- SAS INSTITUTE. **SAS user’s guide: statistics version 6.** 4. ed. Cary, N.C., 1990. 168 p.
- TERUEL, D. A. **Modelagem do índice de área foliar de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos.** 1996. 93 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- UDO, M. C. T. **Estudo de funções que se ajustam à maturação da cana-de-açúcar.** 1983. 74 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Comunicado Técnico, 1

Embrapa Informática Agropecuária Área de Comunicação e Negócios

Av. Dr. André Tosello s/nº
Cidade Universitária - “Zeferino Vaz”
Barão Geraldo - Caixa Postal 6041
13083-970 - Campinas, SP
Telefone/Fax: (19) 3789-5743
E-mail: sac@cnptia.embrapa.br

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO



1ª edição

© Embrapa 2001

Comitê de Publicações

Presidente: Francisco Xavier Hemerly

Membros efetivos: Amarindo Fausto Soares, Ivanilde Dispatto, Marcia Izabel Fugisawa Souza, José Ruy Porto de Carvalho, Suzilei Almeida Carneiro

Suplentes: Fábio Cesar da Silva, João Francisco Gonçalves Antunes, Luciana Alvim Santos Romani, Maria Angélica de Andrade Leite, Moacir Pedroso Júnior

Expediente

Supervisor editorial: Ivanilde Dispatto

Normalização bibliográfica: Marcia Izabel Fugisawa Souza

Editoração Eletrônica: Intermídia Publicações Científicas