



MODELAGEM PARA OTIMIZAÇÃO DA FERTILIZAÇÃO E CALAGEM NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

F.C. da Silva¹, F.J. Freire², V.H. Alvarez-Venegas³, A. de Castro¹, A. de S. Nakamoto¹

(1) Embrapa Informática Agropecuária, Avenida Andre Tosello, 209, 13083-886 Campinas, SP, fabio.silva@embrapa.br, alexandre.castro@embrapa.br e andredesouza13@gmail.com.

(2) Departamento de Agronomia – UFRPE e Fundação Joaquim Nabuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, PE, fernando.freire@fundaj.gov.br .

(3) Departamento de Solos e , UFV, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, vhav@ufv.br.

Resumo: A disponibilidade de informações necessárias para modelar a demanda de certos nutrientes que se espera da produtividade permite o desenvolvimento de um sistema para o cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para a cana. O equilíbrio entre o que é necessário (aplicando a planta), e que podem estar disponíveis (fonte terra) é a base para o desenvolvimento do sistema. O cálculo do balanço de nutrientes indica a necessidade, ou não, bem como a aplicação de calcário e fertilizantes.

Palavras-chave: balanço nutricional, modelo, cana.

MODELING FOR OPTIMIZATION OF FERTILIZATION AND LIMING IN THE SUGARCANE CULTURE

Abstract: The structuring of the information needed to model the demand for certain nutrients expected productivity allows developing a system for calculating the Nutritional Balance and Recommendation of lime and fertilizers for the cultivation of sugarcane. The balance between what you will need (requirement of the plant) and what can be made available (supply ground) is the basis for development of system. The calculation of nutrient balance will indicate the need, or not, the application of lime and fertilizers.

Keywords: nutritional balance model, sugarcane.

1. Introdução

As recomendações de adubação praticadas no país baseiam-se, essencialmente, em curvas de resposta, em que nutrientes são aplicados em doses crescentes e seus efeitos observados no incremento da produção, sendo tais calibrações regionalizadas e para determinados tipos de solo. Tais métodos de pesquisa geram tabelas de recomendação que, embora com razoável acerto em suas indicações, apresentam evidente empirismo ou subjetivismo em sua constituição. Assim, uma simples comparação entre tabelas de distintos estados brasileiros mostra diferentes recomendações para condições semelhantes de solo e de cultivo, e a mesma recomendação para diferentes solos, ou seja, há um erro por desconsiderar tais fatores. Particularmente, no caso da cultura da cana-de-açúcar, em que os fertilizantes são responsáveis por 20 a 25 % do custo de produção, as tabelas apresentam muita variação nas recomendações, tanto para cana planta como para cana soca, o que coloca a cana-de-açúcar como consumidora de 16,3 % de fertilizantes no Brasil (Ramos, 1999, Embrapa, 2009). É necessário o desenvolvimento de um modelo menos empírico que permita diferenciar a necessidade da cultura, de acordo com a produtividade desejada e o potencial de suprimento do solo, de tal forma que a adição de nutrientes seja oriunda fundamentalmente do balanço nutricional. O conhecimento desse balanço permitirá ajustes para a obtenção de recomendações mais adequadas, podendo, inclusive, chegar a uma redução na quantidade de fertilizantes a utilizar, ou também podendo especificar a falta de um nutriente. O ajuste de modelos mecanísticos de abrangência mais generalizada pode tornar-se uma ferramenta eficaz para recomendações criteriosas e de maior precisão de fertilizantes para a cultura da cana-de-açúcar, possibilitando a transferência de tecnologia para produtores, em especial que utilizam de ambientes de produção específicos e de agricultura de precisão.

Neste trabalho é apresentado um sistema que tem como objetivos sistematizar informações de características físicas, químicas e físico-químicas dos principais solos cultivados com cana-de-açúcar no Brasil para simular seus efeitos no balanço nutricional e na produtividade da cana-de-açúcar, e, desta forma, desenvolvendo uma modelagem para fins de sistema informatizado para cálculo do balanço nutricional e para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cana-de-açúcar, a qual certamente pode contribuir para formação e reforma de canaviais equilibradamente nutridos e potencialmente mais produtivos.

2. Materiais e Métodos

A lógica do sistema de cálculo se baseia na diferenciação da necessidade da cultura, de acordo com a produtividade desejada e o potencial de suprimento do solo, de tal forma que a adição de nutrientes seja oriunda fundamentalmente do balanço nutricional (Figura 1).

2.1. Desenvolvimento da metodologia

2.1.1. Requerimento de Nutrientes pela Planta

Para obtermos a quantidade exigida de nutrientes pela cana, a necessidade e a eficiência na utilização do nutriente pela cultura, devem ser considerados e calculados os fatores abaixo:

- *CUB* (Coeficiente de utilização biológica). Por meio do CUB pode-se calcular a eficiência nutricional da planta, que pode ser expressa por kg de matéria seca produzida por kg de nutriente acumulado.

- *P-rem* (*fósforo remanescente*). Para este modelo adotou-se a relação entre o P-rem e teor de argila, mas aplica-se apenas para P, S e Zn.

- *Taxa de recuperação da planta*. A taxa de recuperação é a quantidade de nutriente que a planta recupera em relação à quantidade aplicada na fertilização. Por meio da taxa de recuperação é possível calcular as doses que devem ser aplicadas ao solo para satisfazer a demanda nutricional da planta.

- *Demanda nutricional*. A demanda nutricional (D) pode ser expressa pela razão entre PDE (produtividade esperada) e CUB (coeficiente de utilização biológica). Demanda nutricional é a quantidade de nutrientes necessárias para a formação da planta, no caso da cana a formação de colmos, folhas e raízes. Por meio das equações geradas podemos estabelecer a quantidade requerida de cada nutriente.

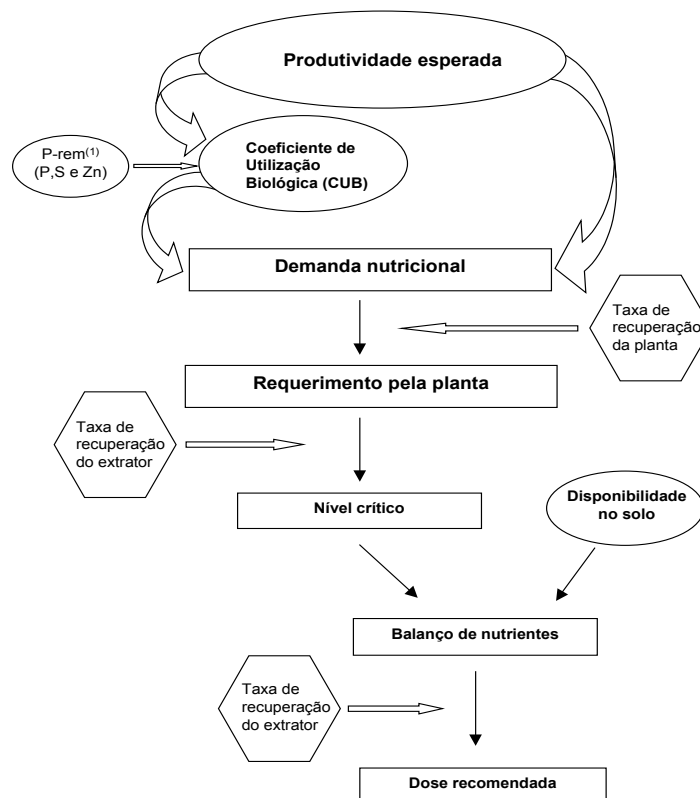


Figura 1. Fluxograma lógico de sistema de recomendação de adubação e calagem em cana-de-açúcar.

2.1.2. Subsistema solo

O subsistema solo é estruturado pelos componentes abaixo:

- *Taxa de recuperação do extrator*

A taxa de recuperação do extrator é fundamental para a credibilidade da análise de solo, pois tem como função conhecer o extrator e a razão solo/extrator, seja a solução de Mehlich-1 ou a resina trocadora de íons (Figura 2), podem extrair de nutriente na análise de solo em função com a quantidade do nutriente aplicado. O efeito residual do P extraído por solução de Mehlich-1 ou a resina trocadora de íons foram:

(1) Mehlich-1: $ER = \{[0,05 + 0,0058 (P\text{-rem})] D\} e^{-[0,000513637 + 0,0000284091^{**}(P\text{-rem})] t}$

(2) Resina: $ER = [0,3572 D] e^{-kt}$

- *Nível crítico*: Equivale a mínima concentração necessária de determinado nutriente para alcançar o crescimento máximo ou para máximo percentual de açúcar no caso da cana-de-açúcar, entretanto este nível torna-se variável entre plantas e solo, e também sobre influência dos tratos culturais realizados, como: calagem, quantidade de nutrientes aplicados, entre outros.

- *Disponibilidade no solo*: obtido para disponibilidade de determinado nutriente no solo é necessária a análise de solo utilizando um extrador, para este modelo adotou-se como extrator o Mehlich-1 e resina trocadora de íons (Embrapa, 2009). Para o caso de P, S e Zn disponível em soluções extratoras ácidas devem ser considerados a capacidade tampão dos fosfatos no solo (P-remanescente) e a textura do solo, como utilizado no Estado de Minas Gerais (Silva, 1998).

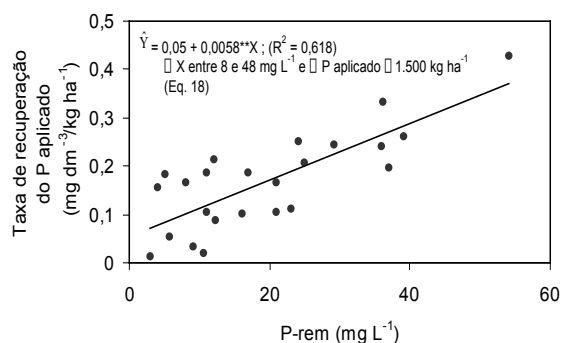


Figura 2. Relações entre quantidade P- recuperadas nos colmos de cana e a disponibilidade de P em solos.

Balanco de nutrientes. Tais componentes são indispensáveis para os cálculos e através destes podemos diferenciar e adequar o sistema mais precisamente de acordo com o solo.

3. Resultados e Discussão

3.1. Quantidade de nutriente para sustentabilidade do solo

Observou-se que as doses recomendáveis de nutrientes para satisfazer a demanda de determinadas produtividades, sejam acrescidas de doses suplementares que proporcionem sustentabilidade ao cultivo, de forma que evite a gradual exaustão do solo. As doses recomendadas são também quantificadas, temos que a quantidade demandada para determinada produtividade é igual a dose suplementar, ou seja, a mesma quantidade de nutriente extraído do solo deve ser repostado para que o cultivo seja sustentável. Na Tabela 1, são apresentados os resultados de modelagem da demanda por fósforo em função da produtividade e do poder tampão de fosfato do solo.

Tabela 1. Resultados de modelagem de demanda por fósforo em função da produtividade e do poder tampão de fosfato do solo.

Componente	Equação
Cana planta	
Colmo	$\hat{Y} = 3.393,44 - 36,9102^{**} X - 41,5718^{**} Z + 0,1327^{**} Z^2 + 0,3808^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 2.066,46 - 25,3250^{**} X - 25,7776^{**} Z + 0,0901^{**} Z^2 + 0,2611^{**} XZ, R^2 = 0,998^{**}$
Raiz	$\hat{Y} = 3.572,94 - 46,6764^{**} Z + 0,1983^{**} Z^2, R^2 = 0,988^{**}$
Cana soca	
Colmo	$\hat{Y} = 1.561,38 - 11,4924^{**} X + 0,01730 X^2 - 19,4638^{**} Z + 0,0684^{**} Z^2 + 0,1134^{**} XZ, R^2 = 0,997^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 1.462,37 - 27,0474^{**} X - 18,2272^{**} Z + 0,0635^{**} Z^2 + 0,2787^{**} XZ, R^2 = 0,998^{**}$
Ressoca	
Colmo	$\hat{Y} = 1.563,80 - 10,8800^{**} X - 19,9378^{**} Z + 0,0775^{**} Z^2 + 0,1084^{**} XZ, R^2 = 0,997^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 1.466,22 - 26,9710^{**} X - 18,6351^{**} Z + 0,0723^{**} Z^2 + 0,2746^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$

3.2. Calibrações de CUB

Para chegar até o valor do CUB se faz necessário saber o quanto de nutrientes a planta absorveu da quantidade aplicada em relação a sua produtividade (TCH). (MENDES, 2006) Como exemplo, baseado na exportação pelo colmo de cana-de-açúcar, tem-se na figura abaixo a calibração do CUB de K (Figura 3, Tabela 2), mas ob-

servou-se que os dados de exportação de nutrientes em cultura de cana de açúcar são modificados para potássio, o que requer mais estudos.

Tabela 2. Regressões dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macronutrientes da matéria seca para colmos da cana planta.

Nutriente	Modelo	R ² , validade do modelo.
N	$y = 55,199e^{0,0076x}$	R ² = 0,8712**, 25 a 200 TCH
P	$y = 279,43e^{-0,041x}$	R ² = 0,7702*, 25 a 200 TCH
K	$y = 81,596e^{0,0015x}$	R ² = 0,8309*, 25 a 200 TCH
Ca	$y = 86,389 + 0,5528x$	R ² = 0,9674**, 25 a 200 TCH
Mg	$y = 75,657 + 1,7962x$	R ² = 0,9543**, 25 a 200 TCH

Todavia, a calibração pode ser realizada pela composição de folhas +3 aos quatro meses em relação à produtividade com melhor precisão e exatidão do modelo de balanço.

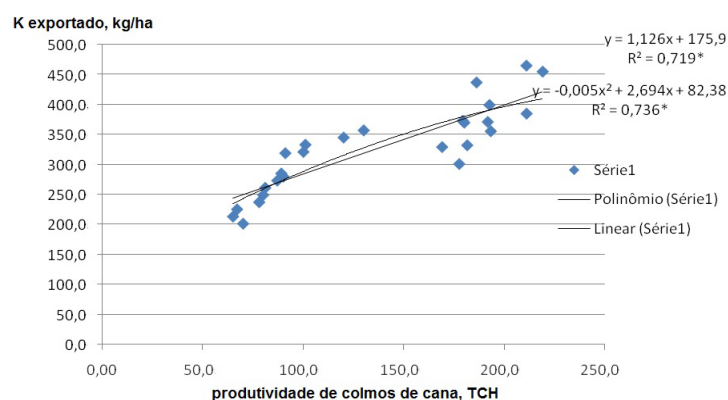


Figura 3. Relação entre exportação de potássio (kg/ha) e a produtividade de colmos (TCH).

4. Conclusões

Conclui-se que o desenvolvimento de sistemas baseados no balanço nutricional é uma ferramenta eficiente para a recomendação da adubação para cana-de-açúcar, com potencial de associar ambientes de produção específicos à agricultura de precisão, com a vantagem de variação contínua das recomendações com a produtividade estimada e características do solo. No entanto, o SIRCA pode ser melhorado a partir de dados coletados em pesquisas, principalmente relacionadas à taxa de recuperação, pela planta, de nutrientes aplicados ao solo, variação de CUB de P, S e Zn com o P-resina e o P-remanescente, relação entre dose de P aplicada a lanço e no sulco e, quanto aos micronutrientes, dados estes que relacionam todas as variáveis consideradas neste estudo.

Referências

- EMBRAPA (2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 627 p.
- MENDES, L, C (2006). “Eficiência nutricional nos cultivares de cana-de-açúcar”, <http://www.tede.ufv.br/tesdesimplificado/tde_arquivos/18/TDE-2006-12-13T150312Z-160/Publico/texto%20completo.pdf>, Viçosa, Setembro.
- RAMOS, P. (1999). “Situação atual, problemas e perspectivas da agroindústria canavieira de São Paulo”. Informações econômicas, 29:9-24.
- SILVA, C, R. E SOUZA, Z, M. (1998). “Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas”, <<http://www.agr.feis.unesp.br/acido.htm>>, Ilha Solteira, Abril.