

Modelagem para otimização da calagem e adubação na cultura de cana-de-açúcar

FREIRE, Fernando José
SILVA, Fábio Cesar da
CARVALHO, Mariana Lopes de
VENEGAS, Victor Hugo Alvarez (*In memoriam*)

Resumo

O Brasil é responsável por grande parte da produção global de cana-de-açúcar e tem uma área plantada de aproximadamente 10 milhões de hectares. No entanto, para manter essa hegemonia mundial, a cana-de-açúcar precisa extrair grandes quantidades de nutrientes do solo, requerendo a aplicação grandes quantidades de fertilizantes. Para recomendar esses fertilizantes, utilizam-se tabelas de recomendação regionais que, embora com razoável acerto em suas indicações, apresenta muito empirismo ou subjetivismo em sua constituição. Assim, modelar a demanda de nutrientes em função da produtividade esperada do canavial, pode permitir o desenvolvimento de um sistema de cálculo do balanço nutricional e recomendação fertilizantes, bem como servir de base para recomendação de calcário em cana-de-açúcar. Portanto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um Sistema de Recomendação de Calagem e Adubação para cana-de-açúcar (SIRCA). O SIRCA calcula a demanda de nutrientes a partir da produtividade esperada e do Coeficiente de Utilização Biológico (CUB), com exceção do P, S e Zn, em que o SIRCA considera também o poder tampão do solo. Concomitantemente, o SIRCA calcula a quantidade de nutrientes disponíveis no solo, através de sua análise química, estimando a quantidade que pode ser extraída do solo. Posteriormente, O SIRCA calcula o balanço nutricional e indica a necessidade, ou não, da aplicação de calcário e/ou fertilizantes. Desenvolvimento de sistemas baseados no balanço nutricional é uma ferramenta eficiente para a recomendação de calagem e adubação para cana-de-açúcar, com potencial de associar ambientes de produção específicos, com a vantagem de atualização contínua das recomendações com a produtividade esperada e os atributos químicos do solo.

Palavras-chave: Demanda de nutrientes, atributos de solo, balanço nutricional.

Abstract

Brazil is responsible for a large part of the global production of sugarcane and has a planted area of approximately 10 million hectares. However, to maintain this world hegemony, sugarcane needs to extract large amounts of nutrients from the soil, requiring the application of large amounts of fertilizers. To recommend these fertilizers, regional recommendation tables are used which, although with reasonable accuracy in their indications, present a lot of empiricism or subjectivism in their constitution. Thus, modeling the nutrient demand as a function of the expected yield may allow the development of a system for calculating the nutritional balance and recommending fertilizers, as well as serving as a basis for recommending limestone in sugarcane. Therefore, the objective of this work was to develop a Lime and Fertilization Recommendation System for sugarcane (LFRS). LFRS calculates nutrient demand based on expected productivity and the Biological Utilization Coefficient (BUC), with the exception of P, S and Zn, in which LFRS also considers the buffering power of the soil. At the same time, LFRS calculates the amount of nutrients available in the soil, through its chemical analysis, estimating the amount that can be extracted from the soil. Subsequently, LFRS calculates the nutritional balance and indicates the need, or not, of limestone and/or fertilizer application. Development of systems based on nutritional balance is an efficient tool for recommending liming and fertilization for sugarcane, with the potential to associate

specific production environments, with the advantage of continuous updating of recommendations with expected productivity and chemical attributes. from soil.

Keywords: Nutrient demand, soil attributes, nutritional balance.

Resumem

Brasil es responsable de gran parte de la producción mundial de caña de azúcar y tiene una superficie plantada de aproximadamente 10 millones de hectáreas. Sin embargo, para mantener esta hegemonía mundial, la caña de azúcar necesita extraer grandes cantidades de nutrientes del suelo, lo que requiere la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes. Para recomendar estos fertilizantes se utilizan tablas de recomendación regionales que, aunque con razonable precisión en sus indicaciones, presentan mucho empirismo o subjetivismo en su constitución. Así, modelar la demanda de nutrientes en función del rendimiento esperado puede permitir desarrollar un sistema para calcular el balance nutricional y recomendar fertilizantes, además de servir como base para recomendar caliza en caña de azúcar. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un Sistema de Recomendación de Cal y Fertilización para caña de azúcar (SIRCF). SIRCF calcula la demanda de nutrientes con base en la productividad esperada y el Coeficiente de Utilización Biológica (CUB), con excepción de P, S y Zn, en los que SIRCF también considera el poder amortiguador del suelo. A su vez, SIRCF calcula la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, a través de su análisis químico, estimando la cantidad que se puede extraer del suelo. Posteriormente, SIRCF calcula el balance nutricional e indica la necesidad, o no, de aplicación de caliza y/o fertilizantes. El desarrollo de sistemas basados en el balance nutricional es una herramienta eficiente para la recomendación de encalado y fertilización para la caña de azúcar, con potencial para asociar ambientes específicos de producción, con la ventaja de la actualización continua de las recomendaciones con la productividad esperada y los atributos químicos del suelo.

Palabras clave: Demanda de nutrientes, atributos del suelo, balance nutricional.

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 diferentes 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 30 % 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 mais de 15% de fertilizantes no Brasil (CHERUBIN et al., 2019; HANASHIRO, 2022).

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 de fertilizantes para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil (SILVA et al., 2021).

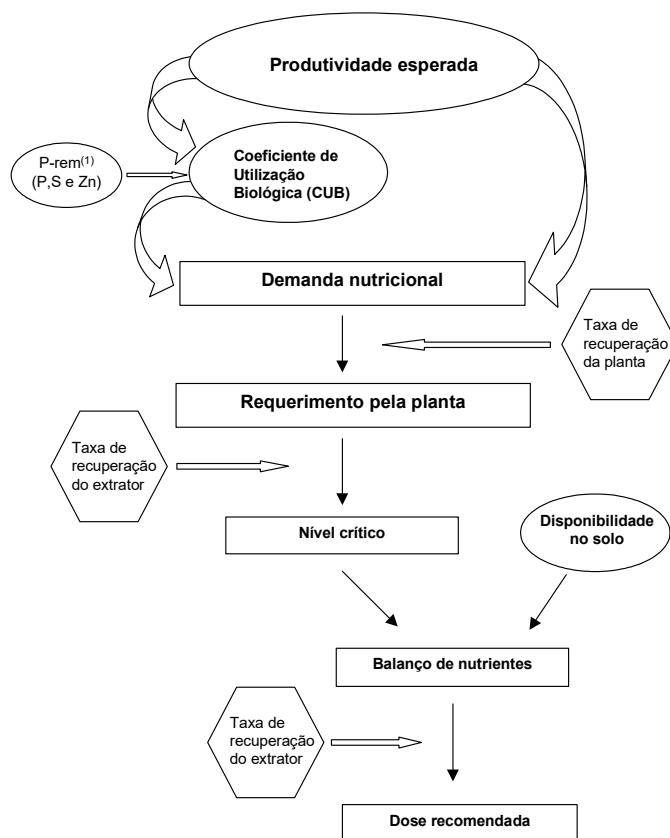
Por outro lado, as recomendações de corretivos e fertilizantes devem ser analisadas de forma criteriosa por um bom programa de nutrição, por meio da diagnose foliar, avaliando a probabilidade de resposta para estas recomendações, sejam elas obtidas de um Sistema como aqui proposto, sejam baseadas nas tabelas de recomendação dos Estados. Isso ajuda o produtor de cana-de-açúcar basicamente de três maneiras: primeiro lhe permite acompanhar a capacidade nutricional das recomendações de corretivos e fertilizantes que estão sendo praticadas em seu canavial; segundo lhe possibilita a informação agrônômica de qual é o potencial de resposta para aquela recomendação; e terceiro sugerindo-lhe, inclusive, a tomada de decisão para execução completa ou fracionada da recomendação proposta.

Assim, 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; desenvolver uma modelagem para fins de apresentar um sistema informatizado para cálculo do balanço nutricional e para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cana-de-açúcar (SIRCA), pois certamente contribuirá para formação e reforma de canaviais equilibradamente nutridos e potencialmente mais produtivos.

1 DESENVOLVIMENTO

A lógica do sistema SIRCA de cálculo se baseia na diferenciação da necessidade da cultura de cana-de-açúcar, 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).

Figura 1. Lógica do sistema de recomendação de calagem e adubação em cana-de-açúcar



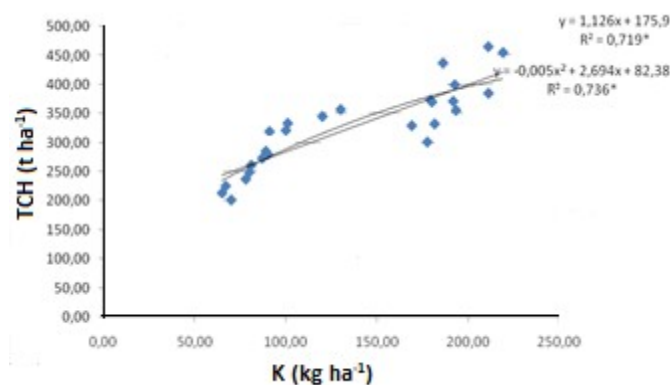
Fonte: Elaborado pelos autores.

As informações experimentais são originárias de trabalhos publicados na literatura e de uma série de ensaios de resposta à fertilizantes e calagem em cana-de-açúcar conduzidos pela equipe da Embrapa e da UFRPE, especialmente nos Estados de São Paulo, Goiás e Pernambuco.

1.1 Calibrações de CUB

O CUB é o coeficiente de utilização biológica, e através dele podemos calcular a eficiência nutricional da planta. É a primeira variável calculada até se chegar na recomendação final. Para chegarmos até o valor do CUB se faz necessário saber o quanto de nutriente a planta absorveu da quantidade aplicada em relação a sua produtividade de colmos (TCH) (Oliveira et. al., 2010). Como exemplo baseado na exportação de K pelos colmos de cana-de-açúcar, temos a calibração do CUB de K em função da produtividade (Figura 2).

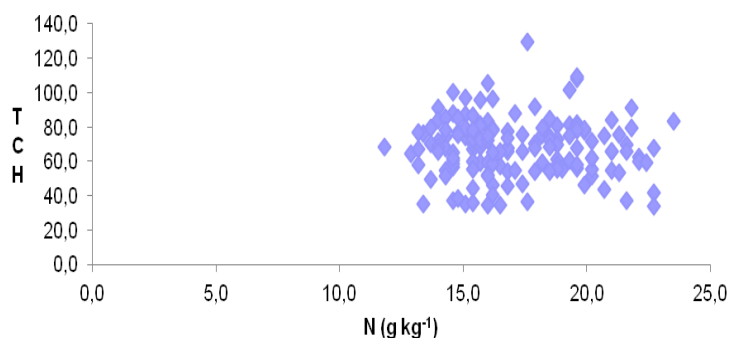
Figura 2. Relação entre exportação de potássio (kg ha^{-1}) e a produtividade de colmos (TCH) em dois solos mostrando que essa relação pode ser linear ou curvilínea



Fonte: Elaborado pelos autores.

Todavia, a calibração pode ser realizada pela análise foliar dos nutrientes, coletando-se a folha +3 da cana-de-açúcar entre 4 e 6 meses de idade do canavial e relacionar com a produtividade de colmos. Um exemplo para essa calibração foi a formação de um banco de dados de produtividade em função do teor N foliar da cana-de-açúcar para estabelecimento de Normas DRIS em Alagoas (Figura 3).

Figura 3. Relação entre a produtividade de colmos em função do teor de N em folhas de cana-de-açúcar



Fonte: Silva et al. (2021).

1.2 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

1.2 Subsistema Planta

Para a cultura da cana-de-açúcar temos vários fatores podem interferir em sua produtividade e, conseqüentemente, gerar lucro ou prejuízo econômico. Estes fatores devem ser quantificados para se obter uma simulação mais próxima da realidade.

1.2.1 Requerimento de Nutrientes pela Planta

Para obtermos a quantidade exigida de nutrientes pela cana-de-açúcar, devem ser considerados e calculados os fatores abaixo:

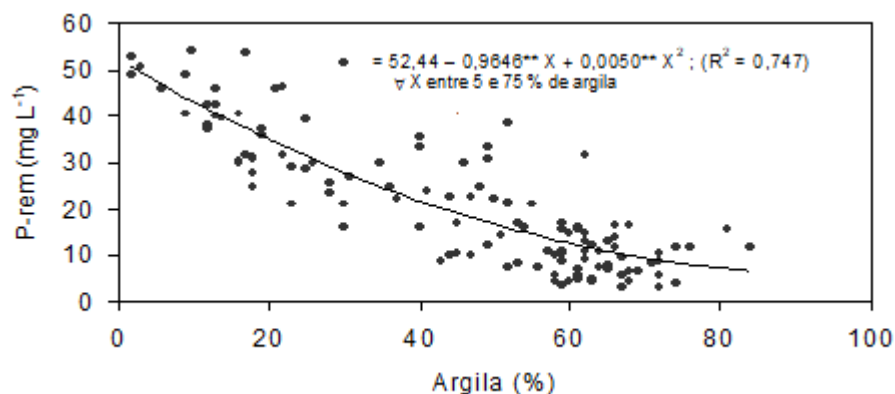
- CUB (Coeficiente de Utilização Biológico)

Através do CUB pode-se calcular a eficiência nutricional da planta, que pode ser expressa em 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 (Figura 4).

Figura 4. Relações entre quantidade e qualidade das argilas e P remanescente em diferentes solos brasileiros



Fonte: Freire (2001).

- Taxa de recuperação da planta

A taxa de recuperação é a quantidade de nutriente que a planta consegue recuperar em relação a quantidade aplicada. Através da taxa de recuperação pode-se calcular as doses que devem ser adicionadas ao solo, para satisfazer a demanda nutricional da planta.

- Demanda nutricional

A demanda nutricional foi expressa pela razão entre a produtividade esperada e o CUB. Demanda nutricional é a quantidade de nutrientes necessárias para a formação da planta, no caso da cana-de-açúcar, a formação de colmos, folhas e raízes. Através das equações geradas pode-se estabelecer a quantidade requerida de cada nutriente.

1.3 Quantidade de Nutriente para Sustentabilidade do Solo

Sugere-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 reposta para que o cultivo seja sustentável. Por exemplo, a demanda por P foi modelada em função da produtividade esperada e do poder tampão de fosfato do solo, expresso pelo P-rem (Tabela 1).

Tabela 1. Modelagem da demanda por P da cana-de-açúcar em função da produtividade esperada e do poder tampão de fosfato do solo

Componente	Equação
Cana planta (Primeiro ciclo de cultivo)	
Colmo	$\hat{Y} = 3.393,44 - 36,9102^{**} X - 41,5718^{**} Z + 0,1327^{**} Z^2 + 0,3808^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 2.066,46 - 25,3250^{**} X - 25,7776^{**} Z + 0,0901^{**} Z^2 + 0,2611^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Raíz	$\hat{Y} = 3.572,94 - 46,6764^{**} Z + 0,1983^{**} Z^2$
Cana soca (Segundo ciclo de cultivo)	
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	$\hat{Y} = 1.462,37 - 27,0474^{**} X - 18,2272^{**} Z + 0,0635^{**} Z^2 + 0,2787^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Ressoca (Terceiro ciclo de cultivo em diante)	
Colmo	$\hat{Y} = 1.563,80 - 10,8800^{**} X - 19,9378^{**} Z + 0,0775^{**} Z^2 + 0,1084^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 1.466,22 - 26,9710^{**} X - 18,6351^{**} Z + 0,0723^{**} Z^2 + 0,2746^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$

Modelagem da demanda de P em função da produtividade esperada (X) e do poder tampão de fosfato do solo (Z, expresso pelo P-rem). Em cana soca e ressoca, o Sistema não modela demanda de nutriente porque considera que o sistema radicular foi formado no ciclo de cana planta.

Fonte: Elaborado pelos autores.

1.3.1 Subsistema Solo

O subsistema solo é estruturado pelos componentes abaixo:

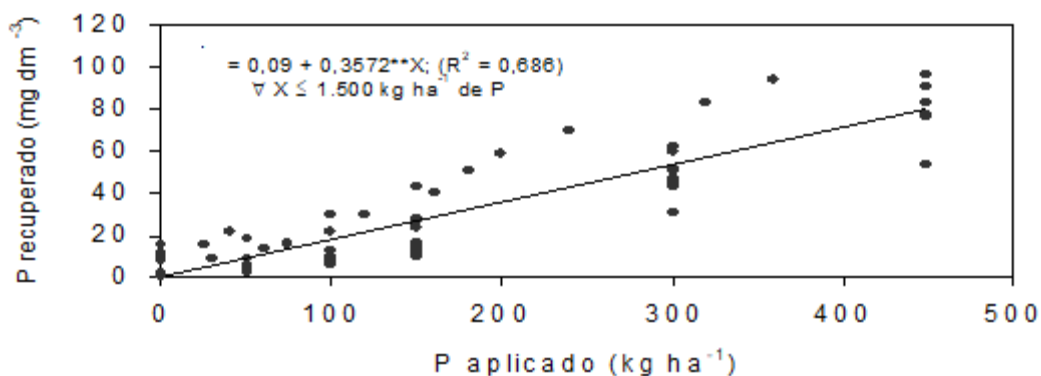
- Taxa de recuperação do extrator

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 Resina Trocadora de Íons (Figura 5a) ou a solução de Mehlich-1 (Figura 5b), mostrando quanto do nutriente pode estar disponível em função da quantidade do nutriente aplicado no solo. O sistema denominou de recuperação do extrator, que no caso do P, foram considerados o comportamento de dois diferentes extratores: Resina Trocadora de Íons e Mehlich-1. Quando o extrator utilizado para

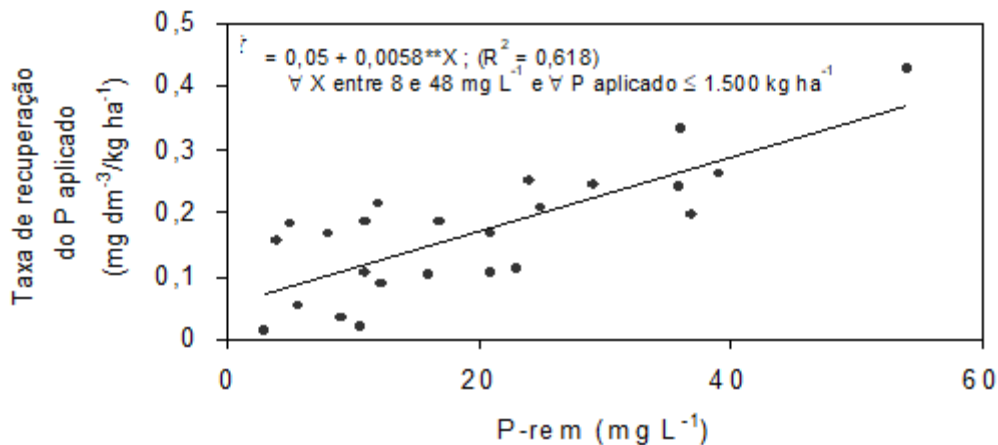
prever o P disponível foi a solução de Mehlich-1, o Sistema considerou o poder tampão do solo, expresso pela P-rem.

Figura 5. Relações entre P recuperado pelos extratores Resina Trocadoras de Íons (a) e Mehlich 1 (b) em função do P aplicado em diferentes solos no Brasil

(a)



(b)



Fonte: Elaborado pelos autores

- Nível crítico

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

- Disponibilidade no solo

Para se obter a disponibilidade de determinado nutriente no solo é necessária a análise de solo utilizando um extrator, sendo que para este modelo adotou-se como extrator o Mehlich-1 e Resina Trocadora de Íons (Sistema IAC). Para o caso de P, S e Zn disponível em soluções extratoras ácidas deve ser considerada a capacidade tampão dos fosfatos no solo (P-rem), como utilizado no Estado de Minas Gerais (Silva, 1991), como se pode observar nas Figuras 4 e 5b, que mostram o relacionamento entre quantidade e qualidade das argilas e o P-rem (Figura 4) e a taxa de recuperação do extrator Mehlich-1 e o P-rem (Figura 5b).

- Balanço 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.

1.3.2 Nutriente Fornecido pelo Solo

A forma de manejo do solo é essencial para a disponibilidade dos nutrientes, que também deve se levar em conta os fatores climáticos como intensidade de chuvas, temperatura, etc.

Para obter os dados de solo, utilizam-se os dados de análises de solo, tais dados são considerados subsídios básicos para a realização do balanço nutricional da cultura de cana-de-açúcar.

2 APLICAÇÃO DO MODELO NO SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO

2.1 Recomendação de Calagem – Metodologias

Para se estimar a recomendação da necessidade de calagem, o SIRCA considera o pH a capacidade tampão do solo, expressa por sua acidez potencial. Como efeito de comparação com outros métodos utilizados no Brasil, descreve-se abaixo o método da saturação por bases (Cantarella et al., 2022) e o método da neutralização do Al trocável e elevação dos teores de Ca + Mg trováveis (RIBEIRO et al., 1999).

- **Saturação por bases**, consiste na elevação da saturação de bases trocáveis para um valor que proporcione o máximo rendimento econômico do uso de calcário. O cálculo da necessidade de calagem (NC) é feito através da seguinte fórmula:

$$NC = \frac{(V_2 - V_1) \times T \times f}{100}$$

Em que: NC é a necessidade de calagem ($t\ ha^{-1}$); V1 = valor da saturação das bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção. ($V1 = 100\ S/T$), sendo: $S\ (cmol_c\ dm^{-3}) = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$. Quando o K^+ for expresso em $mg\ dm^{-3}$ na análise do solo, há necessidade de transformar para $cmol_c\ dm^{-3}$ pela fórmula: $K^+ (cmol_c\ dm^{-3}) = (0,0026) K^+ (mg\ dm^{-3})$; T = capacidade de troca de cátions, sendo $T\ (cmol_c\ dm^{-3}) = S + (H+Al^{3+})$; V2 = Valor da saturação de bases trocáveis que se deseja; f = fator de correção do PRNT do calcário, sendo $f = 100/PRNT$. A saturação de bases que se deseja é variável para cada estado ou região, variando de 50 a 60% em cana-de-açúcar.

- **Neutralização do alumínio trocável e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis.** Esse método é, particularmente, adequado para solos sob vegetação de Cerrados, nos quais ambos os efeitos são importantes. O cálculo da necessidade de calagem (NC) é feito através da seguinte fórmula:

$$NC = [Al^{3+} \times 2] + [2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] (PRNT = 100\%)$$

Em que: NC é a necessidade de calagem ($t\ ha^{-1}$); Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} são dados na análise do solo ($cmol_c\ dm^{-3}$); 2 é um fator que corrige o Al^{3+} e eleva os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} ; Quando o PRNT do calcário não for 100%, deve-se corrigir a recomendação: f = fator de correção do PRNT do calcário, sendo $f = 100/PRNT$.

- **Método SIRCA.** O Sistema SIRCA proposto leva em consideração o pH e a Capacidade tampão do solo.

Inicialmente calcula-se a demanda total de Ca e Mg para três cultivos sucessivos da cana-de-açúcar, ou seja, para cana planta, soca e primeira ressoca, fixando a produtividade esperada para cana planta e considerando os decréscimos subsequentes da produtividade nos cultivos de soca e primeira ressoca (CARVALHO & GRAÇA, 1976).

Os calcários comerciais geralmente apresentam um efeito residual de 42 a 48 meses (Alcarde, 1986), o que corresponde ao período de cultivo da cana planta até a primeira ressoca, permitindo prever as quantidades de Ca e de Mg que deverão ser disponibilizadas ao longo desse período para atender as exigências nutricionais. Desse modo, é provável que para o cultivo da segunda ressoca seja necessária uma nova calagem.

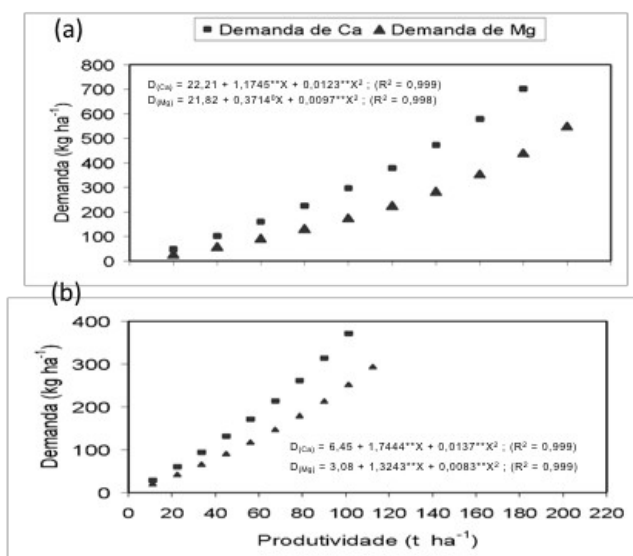
No entanto, esta não é uma prática comum em cultivos comerciais de cana-de-açúcar; porém, é possível que esta seja uma das causas da abrupta redução de produtividade em ressocas de quarto corte, chegando a ser 61,8 % da produtividade da cana planta e 43,7% da cana soca, proporcionando uma perda substancial de produção anual ao final do ciclo de cultivo. Assim, calcula-se a demanda de

Ca e de Mg para os cultivos sucessivos de segunda, terceira e quarta rressocas para uma segunda calagem que deverá reduzir consideravelmente os decréscimos de produtividade das rressocas. Por outro lado, para realizar esse cálculo, é necessário considerar o decréscimo de produtividade que naturalmente ocorre em plantios comerciais.

Dessa forma, para calcular a demanda de Ca e de Mg para os três cultivos, fixa-se a produtividade esperada para a segunda rressoca, que deverá ser, no mínimo, a mesma da primeira rressoca, considerando-se, daí em diante, os decréscimos sucessivos de produtividade. A expectativa teórica é de que, com a segunda calagem, haja um ganho efetivo de produtividade na quarta rressoca de 36,8 %, considerando uma produtividade esperada para cana planta de 100 t ha⁻¹ e uma produtividade para segunda rressoca semelhante a primeira.

Sendo a demanda função da produtividade, ela diminui consideravelmente com os ciclos sucessivos e, especificamente, no caso do Ca e do Mg, pode-se considerar uma demanda de implantação e outra de manutenção (Figura 6) representadas, respectivamente, pela quantidade necessária para assegurar a produtividade da cana planta até a primeira rressoca (demanda de implantação) (Figura 6a) e outra representada pela quantidade necessária para garantir a produtividade da segunda rressoca até a quarta (demanda de manutenção) (Figura 6b).

Figura 6. Demanda de Ca e Mg de implantação (a) e de manutenção (b) em função da produtividade esperada de cana-de-açúcar



Fonte: Elaborado pelos autores.

A demanda de implantação é maior que a de manutenção, o que era de se esperar. Porém, especificamente no caso da cana-de-açúcar, as relações do Ca com o Mg mostraram-se variáveis, tanto com o aumento da produtividade, como com os ciclos sucessivos (Figura 6). A demanda de implantação de Ca é maior do que a de Mg em baixas e médias produtividades, reduzindo-se em altas produtividades (Figura 6a), o que faz com que a relação Ca:Mg diminua com o aumento da produtividade. Em manutenção, porém, esta relação Ca:Mg é mais estreita e se mantém praticamente constante em baixas, médias e altas produtividades (Figura 6b). Por exemplo, para uma produtividade de 50 t ha⁻¹ na fase de implantação, a demanda estimada de Ca é de 111,7 kg ha⁻¹ e a de Mg de 64,6 kg ha⁻¹, com uma relação de 1,7:1. Para uma produtividade de 140 t ha⁻¹, a demanda de Ca é de 427,7 kg ha⁻¹ e a de Mg é de 263,9 kg ha⁻¹, com uma relação de demanda de 1,6:1, estreitando-se, portanto, com o aumento de produtividade. No entanto, na fase de manutenção para uma produtividade de 30 t ha⁻¹, as demandas de Ca e Mg são, respectivamente, de 71,1 e 50,3 kg ha⁻¹, com uma relação de 1,4:1. Para se manter nesta fase uma produtividade de 90 t ha⁻¹, essas demandas são, respectivamente, de 274,4 e 189,5 kg ha⁻¹, com uma relação de 1,4:1. Essas estimativas de demanda foram calculadas pelo SIRCA, tendo como base os dados dos trabalhos de diversos autores (CORDEIRO, 1978; ZAMBELLO JÚNIOR & ORLANDO FILHO, 1981; RODELLA et al., 1984; BENEDINI, 1988).

É relativamente vasta a informação sobre o maior acúmulo de Ca em relação ao de Mg em cana-de-açúcar, como constatado por esses mesmos autores, sendo mais evidente em baixas e médias produtividades, onde a relação da demanda Ca:Mg se amplia, como exemplificado, anteriormente.

É provável que essa diferença de demanda em diferentes produtividades se reflita em níveis críticos de Mg até superiores aos de Ca, dependendo da capacidade da cana-de-açúcar absorver mais um do que outro, conforme será visto, posteriormente. Esta constatação de altas demandas de Mg em cana-de-açúcar de quarto corte em diante precisa ser comprovada (Oliveira et al., 2010).

2.2 Recomendação de Adubação

A adubação é um dos fatores que determinam a produtividade e custos, por isso se faz necessário simular as quantidades de nutrientes necessárias. Primeiramente recomendamos a calagem (Ca e Mg), depois os macronutrientes (K, P, N e S) e por último os micronutrientes (B, Cu e Zn) (CHERUBIN et al., 2019).

2.2.1 Disponibilidade de fósforo para cana-de-açúcar – um exemplo

Para avaliar a disponibilidade de P, é necessária a análise de solo, consideram-se como métodos de extração o Mehlich-1 e a Resina de Troca de Íons. A revisão sobre métodos de extração de P de solos, atualizada por Silva & Raij (1999), em 70 trabalhos consultados, permitiu a confirmação de que as correlações entre índices biológicos de disponibilidade de P em solos apresentam-se amplamente favoráveis para a resina de troca de íons que não é afetada pelo pH do solo, o que é uma grande vantagem em regiões que têm solos ácidos e alcalinos, como é o caso da região do Nordeste brasileiro.

Nos Estados do Nordeste, onde a cultura da cana-de-açúcar tem uma expressão significativa, os solos são, em sua grande maioria, menos ácidos do que nas outras regiões do País onde se cultiva cana-de-açúcar, sendo também comum a formação de compostos pouco solúveis de fosfatos de Ca. Nessas regiões, a utilização do Mehlich-1 é controversa. Se por um lado, o extrator sofre um maior desgaste devido aos solos serem menos ácidos, por outro, a solubilização de compostos como estes, liberando P, pode, provavelmente, superestimar o disponível, porque o P de compostos dessa natureza pode ser inacessível às plantas (LEMOS et al., 2022).

Por outro lado, plantas que são capazes de acidificar a rizosfera poderiam utilizar esses compostos de P ligado a Ca, sendo provável que, nesses casos, o P absorvido se correlacione significativamente com o P disponível pelo Mehlich-1 (REIN et al., 2021).

O mais importante, no momento, é que se alerte para a realização de pesquisas, inclusive onde se possa estudar a capacidade dos extratores Bray-1 e Mehlich-3 para avaliar o P disponível em regiões que apresentem solos com aquelas características (SILVA et al., 2003)

O resultado da análise de solo por si só, principalmente para se avaliar a quantidade disponível de P, pouco representa se utilizar um extrator ácido (SILVA & RAIJ, 1999). É necessário conhecer-se, também, qual a capacidade tampão de fosfatos do solo, pois extratores como o Mehlich-1 são sensíveis a esta característica, ou seja, extraem mais P em solos com baixo poder tampão (SIMÕES NETO et al., 2009).

Como medida do poder tampão de fosfatos do solo, considera-se o P-rem. Desse modo, ajustou-se um modelo que relaciona a taxa de recuperação pelo extrator do P aplicado em função do P-rem (Figura 5b).

Para o ajuste deste modelo utilizaram-se dados de FONSECA et al. (1988), GUSS (1988) e NOVELINO (1999). Consideraram-se taxas de recuperação de P pelo Mehlich-1 entre 0,10 e 0,33 $\text{mg dm}^{-3}/\text{kg ha}^{-1}$, para solos com valores de P-rem entre 8 e 48 mg L^{-1} . Embora as maiores doses utilizadas por esses pesquisadores tenham sido superiores a 500 mg dm^{-3} de P, considerou-se a linearidade do modelo para doses até este valor. Acima dele, é muito provável que o melhor ajuste seja curvilíneo. Como na prática o intervalo de doses é pequeno, utilizou-se o ajuste linear como a melhor aproximação para doses normalmente utilizadas.

Diferentemente do comportamento do Mehlich-1, a Resina, teoricamente, não varia com o poder tampão de fosfatos do solo. No entanto, como o tempo de extração utilizado na análise é pequeno, é possível, que a Resina extraia apenas uma fração do fator quantidade (OLIVEIRA et al., 2000). Porém, nesta primeira versão, ainda não foi possível relacionar esta sensibilidade com nenhuma medida do poder tampão de fosfatos do solo.

Dessa forma, para se ter uma única recuperação pelo extrator em função do aplicado, como foi para Ca, Mg e K, ajustou-se um modelo para estimar esta recuperação pela Resina (Figura 5a).

Para o ajuste deste modelo, utilizaram-se dados de Moura Filho (1990) e Novelino (1999) pelo fato desses pesquisadores terem trabalhado com as mesmas doses de P para avaliar, tanto pela Resina, como pelo Mehlich-1, além de terem determinado o P-rem para todos os solos utilizados.

Os solos de várzea utilizados por Moura Filho (1990) são largamente cultivados com cana-de-açúcar no Estado do Rio de Janeiro e representam uma parcela considerável dos solos cultivados com cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil.

Apesar de não se encontrar na literatura relação do P recuperado pela Resina e alguma medida do poder tampão de fosfatos do solo (Moura Filho, 1990; Novelino, 1999; Oliveira et al., 2000), a dispersão de dados, mostrando recuperações até três vezes maiores para uma mesma dose aplicada em solos com diferentes valores de capacidade tampão, sugere a necessidade de se continuar pesquisando para elucidar questões ainda pouco esclarecidas como esta. Simões Neto et al. (2015) publicaram pesquisa que tem norteado a adução fosfatada de cana-de-açúcar no Nordeste, porém relatam que nos solos estudados não houve relação da extração de P por Resina Trocadora de Íons com nenhuma característica que expresse o poder tampão de fosfato dos solos.

A disponibilidade de S é avaliada utilizando-se como extrator o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ na concentração de 500 mg L^{-1} de P em HOAc $2,0 \text{ mol L}^{-1}$. Porém, assim como para o P, sua disponibilidade é função de uma medida do poder tampão, como o P-rem. Dessa forma, utiliza-se o modelo desenvolvido por Alvarez V. (1996) que estima a taxa de recuperação pelo extrator do S aplicado em função do P-rem.

A disponibilidade de Zn, assim como o P e o S, varia com a taxa de recuperação do Zn aplicado, sendo também função da capacidade tampão do solo (estimada pelo P-rem). Para ajustar um modelo, utilizaram-se dados do trabalho de Couto et al. (1992), em que a disponibilidade de Zn foi avaliada pelo Mehlich-1 em doze amostras de solos do Estado de Minas Gerais.

2.2.2 Efeito residual de fósforo

Considera-se que a disponibilidade de P em solos sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar está diretamente relacionada com os efeitos cumulativos das aplicações de P e, conseqüentemente, com o efeito residual deste nutriente. Segundo Silva (1991), o aumento do P disponível pelo Mehlich-1, em até 25 anos de cultivo contínuo com cana-de-açúcar foi função do efeito residual do P aplicado.

Assim, Novais & Smyth (1999), baseados nos trabalhos de Barrow (1980), Cox et al. (1981), Muniz et al. (1987), Gonçalves et al. (1989) e Fixen & Grove (1990), apresentaram um exemplo de modelagem mostrando o que tem sido feito sobre a estimativa do residual de P em solos. No software SIRCA na forma de API (Interface Programação de Aplicação), o modelo exponencial apresentado por esses autores, com algumas adaptações, mostrou-se consistente pelo menos para esta primeira versão. Deste modo, consideram-se dois tipos de efeitos residuais em cana-de-açúcar: o efeito residual de P em cana soca, que corresponde ao resíduo da dose de P aplicada em cana planta, e o efeito residual de P em ressocas, que corresponde ao resíduo da dose de P utilizada para cana soca.

Embora se reconheça que ao final de todo o ciclo de cultivo haja um resíduo de P que deva ser computado como uma entrada deste nutriente em cana planta, a análise do solo que normalmente é realizada antes da renovação do canavial irá, certamente, quantificar este resíduo de P. Por outro lado, em socas e ressocas, é pouco comum a prática da análise de solo, o que justifica computar, nestes cultivos, os efeitos residuais dos fertilizantes fosfatados aplicados no cultivo antecedente.

Para Mehlich-1, o efeito residual de P para cana soca e ressoca é:

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

Em que **ER** é o efeito residual de P (mg dm^{-3}); **0,05 + 0,0058 (P-rem)** é a regressão que estima o P recuperado/P aplicado ($\text{mg dm}^{-3}/\text{kg ha}^{-1}$) em função do P-rem; **D** é a dose de P recomendada para ser aplicada em área total em cana planta ou soca (kg ha^{-1}); e **e** a base do logaritmo neperiano; **- [0,000513637 + 0,0000284091**(P-rem)] t** é a regressão que estima a perda ou diminuição do P disponível no tempo ($\text{mg dm}^{-3} \text{ dia}^{-1}$), ajustada com dados do trabalho de Gonçalves et al. (1989), em função do P-rem, ou seja, quando o extrator é o Mehlich-1 esta perda depende do poder tampão de fosfato do solo; **t** é o tempo decorrido da aplicação da dose do fertilizante até o início da rebrota subsequente (dias).

Para exemplificar a utilização deste modelo, imagine-se que para um cultivo de cana planta com um ciclo de 18 meses (540 dias), aplicou-se uma dose de 100 kg ha^{-1} de P no plantio, em um solo com 20 mg L^{-1} de P-rem. O efeito residual de P estimado pelo modelo para cana soca é de aproximadamente $9,0 \text{ mg dm}^{-3}$, o que corresponde a uma adição de cerca de 54 kg ha^{-1} de P. É evidente que a disponibilidade efetiva é um valor bem menor que este; No entanto, não se pode deixar de admitir que representa uma entrada de P em cana soca que não pode deixar de ser computada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de sistemas baseados no balanço nutricional é uma ferramenta eficiente para a recomendação de calagem e 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 Sistema de Recomendação de Calagem e Adubação (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-remanescente, relação entre dose de P aplicada a lanço e no sulco e, quanto aos micronutrientes, dados estes que relacionam todas as variáveis consideradas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as bolsas do CNPQ, a cooperação técnica e parceria com Cooperativa de Plantadores de Cana (Coplacana) e a Empresa Brasileira de Calcário Ltda (Embracal), que apoiaram inovação tecnológica no desenvolvimento dos Projetos: "Desenvolvimento de soluções tecnológicas com escopo na recuperação da produtividade da cana-de-açúcar" e "Aprimoramento das recomendações técnicas de correção da acidez do solo e suas implicações fitotécnicas no canavial". Tais projetos geraram informações experimentais no campo e associado aos recursos computacionais foram fundamentais para a modelagem de balanço de nutrientes apresentada no artigo e é parte essencial para o desenvolvimento de sistemas baseados no balanço nutricional para cana-de-açúcar, visando oferecer uma ferramenta eficiente para a recomendação de calagem e adubação nos Estados de São Paulo, Goiás e Pernambuco.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. Característica dos corretivos da acidez do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE APLICAÇÃO DE CÁLCARIO NA AGRICULTURA, Piracicaba, 1986. *Anais*. Piracicaba, 1986. p.1-19.
- ALVAREZ V., V. H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V. H., FONTES L. E. & FONTES, M. P. F., eds. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos e o desenvolvimento sustentável*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 615-646.
- BARROW, N. J. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C. & KAMPRATH, E. J., eds. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p. 333-359.
- BENEDINI, M. S. *Novo conceito no uso de calcário em cana-de-açúcar*, 1988. 19p. 14 (Série agrônômica, 16).
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M. & RAIJ, B. *Boletim 100: Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*, Instituto Agrônômico, Campinas, São Paulo, 2022.
- CARVALHO, L. C. C. & GRAÇA, L. R. *Produtividade agrícola da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo*, IAA/PLANALSUCAR, Piracicaba, São Paulo, 1976.
- CHERUBIN, M. R.; LISBOA, I. P.; SILVA, A. G. B.; VARANDA, L. L.; BORDONAL, R. O.; CARVALHO, J. L. N.; OTTO, R.; PAVINATO, P. S.; SOLTANGHEISI, A. & CERRI, C. E. P. Sugarcane straw removal: Implications to soil fertility and fertilizer demand in Brazil. *BioEnergy Research*, 12:888–900, 2019.
- CORDEIRO, D. A. *Efeitos da calagem e da adubação potássica sobre a produção de colmo e o equilíbrio nutricional da cana-de-açúcar (Saccharum spp)*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1978. 92p. (Tese de Mestrado).

Bioenergia em revista: diálogos. ano/vol. 12, n. 2, jul./dez. 2022. P. 09-29

Modelagem para otimização da calagem e adubação na cultura de cana-de-açúcar

FREIRE, Fernando José; SILVA, Fábio Cesar da; CARVALHO, Mariana Lopes de; VENEGAS, Victor Hugo Alvarez

COUTO, C.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16:79-87, 1992.

COX, F. R.; KAMPRATH, E. J. & McCOLLUM, R. E. A descriptive model of soil test nutrient levels following fertilization. *Soil Science Sociedade America Journal*, 45:529-532, 1981.

FIXEN, P. E. & GROVE, J. H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R. L. ed. Soil testing and plant analysis. Madison, *Soil Science Society of America*, 1990. P. 141-180.

FREIRE, F. J. *Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 144p. (Tese de Doutorado).

FONSECA, D. M.; ALVAREZ V., V. H.; NEVES, J. C. L.; GOMIDE, J. A.; NOVAIS, R. F. & BARROS, N. F. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hiparrhenia rufa*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 12:49-58, 1988.

GUSS, A. *Exigência de fósforo para estabelecimentos de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais em solos com diferentes características físicas e químicas*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 74p. (Tese de Mestrado).

GONÇALVES, J. L. M.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. & RIBEIRO, A. C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13:13-24, 1989.

HANASHIRO, M.M. *Custos e rentabilidade*. Agencia de informações de cana-de-açúcar. Exibido em 22/02/2022, no site:

<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/custos-e-rentabilidade>.

LEMONS, J. L.; FREIRE, F. J.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; OLIVEIRA, E. C. A.; LUCENA, P. G. C.; SILVA, S. R. V.; FREIRE, M. B. G. S. & LIMA, D. R. M. Phosphorus fractions in soils with distinct mineralogy and their relationship with phosphate buffer capacity indicators in Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 44:e55148, 2022.

MOURA FILHO, G. *Disponibilidade de fósforo em amostras de solos de várzeas*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 76p. (Tese de Mestrado).

MUNIZ, A. S.; NOVAIS, R. F.; FREIRE, F. M.; NEVES, J. C. L. & BARROS, N. F. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliadas por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Ceres*, 34:125-151, 1987.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 1999. 399p.

NOVELINO, J. O. *Disponibilidade de fósforo ao longo do tempo em solos altamente intemperizados avaliada por extratores químicos e crescimento vegetal*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 70p. (Tese de Doutorado).

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E. & SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. & NEVES, J. C. L. Comparisons of phosphorus availability between anion exchange resin and Mehlich-1 extractions among Oxisols with different capacity factors. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31:615-630, 2000.

REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SOUSA, D. M. G.; CARVALHO, W. P. & LEMES, G. C. *Corrective and maintenance phosphorus fertilization on sugarcane yield in Oxisols*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 56:e02160, 2021.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais, 1999.

RODELLA, A. A.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. & ORLANDO FILHO, J. Calibração de cálcio, magnésio e acidez do solo para a cana-de-açúcar cultivada na região de cerrado, *STAB*, 2:45-48, 1984.

SILVA, E. M. B.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A. & FREIRE, M. B. G. S. Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 25:323-328, 2003.

SILVA, F. C. *Avaliação da disponibilidade de fósforo por diversos extratores em solos cultivados com cana-de-açúcar (Saccharum spp)*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1991. 165p. (Tese de Mestrado).

SILVA, F. C. da. & RAIJ, B. Van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliado por diferentes extratores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34:267-288, 1999.

SILVA, L. C.; FREIRE, F. J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MOURA, A. M.; COSTA, J. V. T. & REZENDE, J. S. Nutrient balance in sugarcane in Brazil: Diagnosis, use and application in modern agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 44:2167-2189, 2021.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A. & ROCHA, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:840-848, 2009.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; OLIVEIRA, E. C. A. & ROCHA, A. T. R. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:73-81, 2015.

ZAMBELLO JÚNIOR, E. & ORLANDO FILHO, J. A adubação da cana-de-açúcar na região Centro Sul do Brasil. PLANALSUCAR, Piracicaba, São Paulo, 1981. p.1-26. (*Boletim Técnico PLANALSUCAR*, 3).

1 FREIRE, Fernando José. Possui Graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1985), Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1991) e Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa (2001). Pós-Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Pós-Doutorado na Texas A&M University nos EUA (2016). Docente do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Docente Permanente no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo). Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq desde 2009. Temas de pesquisa: Fertilidade do Solo, Nutrição de Plantas e Ciclagem de Nutrientes. Cargos Administrativos em Ciência e Tecnologia: Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) (2001/2004). Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco (2004/2008). Coordenador Institucional do REUNI/UFRPE (2009/2011). Membro do Conselho Superior da Facepe (2009/2015). Membro do Conselho Universitário da Universidade de Pernambuco (2014/2015). Presidente da Fundação Joaquim Nabuco (2011/2015). Membro da Academia Pernambucana de Ciências (2008/Atual); Membro da Academia Pernambucana de Agronomia (2012/Atual). Membro da Academia Brasileira de Agronomia (2012/Atual). Secretário Executivo da Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional - FADURPE (2020/Atual).

2 SILVA, Fábio César. Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade de São Paulo (1987), graduação em Engenharia Florestal pela ESALQ-USP (1987), mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (1991) e doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (1995). Pós-doutoramento em Modelagem de sistema de Produção Vegetal (Universidad Politecnica de Madrid, 2008 e USP, 2007) Atualmente é pesquisador doutor da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária desde 1993 e professor pleno 2 (equivalente: MS-05) da Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo em Tecnologia de produção de biocombustíveis. Atuando na área de inovação e empreendedorismo atuando na Agência Paula Souza, como experiência: agente local de inovação e coordenação do Polo Regional de Campinas da Inova Paula Souza (2015/17), integrante do Centro Paula Souza do Estado de São Paulo. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agroenergia, modelagem de Fertilidade do Solo e Adubação atuando principalmente nos seguintes temas: cana-de-açúcar, qualidade de matéria prima e processamento de açúcar, metais pesados, modelagem matemática fisiológica de cultura e contaminação ambiental.

3 CARVALHO, Mariana Lopes de. É graduanda no curso de Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. "Roque Trevisan" - Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza".

4 VENEGAS, Victor Hugo Alvarez. Graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Central do Equador (1962). Especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas pela Oficina de Pesquisas Científicas e Técnicas de Ultramar (ORSTOM) e pelo Instituto de Pesquisas de Óleos e Oleaginosas (IRHO), 1962 - 1964, França, Costa de Marfim e Benin. Especialização em Estatística Experimental pelo Instituto Superior de Estatística da Universidade de Paris (ISSUP) e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), 1966 - 1968, França e Brasil. Mestrado em Fitotecnia (Produção Vegetal) pela Universidade Federal de Viçosa (1974) e Doutorado em Ciências, Especialidade: Suelos - Colegio de Postgraduados (1982). Professor assistente, adjunto, titular e titular-voluntário da Universidade Federal de Viçosa. Medalha do Mérito em Pesquisa "Peter H. Rolfs", UFV, 2000. Homenageado com a "Distinção em Vida" pela Sociedade Latino-americano de Ciência do Solo, durante o XIX CLASC 2012. Prêmio IPNI Brasil 2014, categoria Pesquisador Sênior, no Fertbio 2014. (*In memoriam*)