

## RECOMENDAÇÕES DE FÓSFORO E CALCÁRIO PARA APLICAÇÃO EM TAXA VARIADA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

L.A.A. MENEGATTI<sup>1</sup>; G. KORNDORFER<sup>2</sup>; C.A. COLOMBO<sup>3</sup>; P. LEONI<sup>4</sup>; A.S. BÍSCARO<sup>5</sup>

RESUMO: A cultura da cana-de-açúcar é cultivada em grandes extensões de área no Brasil. Tradicionalmente, o manejo da fertilidade do solo é feito através de amostragens de solo convencionais. Na Cana-de-açúcar, a amostragem é realizada em áreas não maiores que 100 ha com sub-amostras retiradas aleatoriamente por toda a área. As sub-amostras são misturadas resultando na amostra enviada ao laboratório. Com base neste resultado de laboratório, são feitas todas as recomendações de aplicação de fertilizantes e corretivos do solo. Uma das adubações mais importantes realizadas na cultura é a adubação de plantio associada com a aplicação de corretivos no solo. A importância desta operação incide no fato de que a base para a produção da cultura está sendo estabelecida neste momento e terá duração mínima de 5 anos. Neste momento faz-se a correção da acidez do solo, com aplicação de calcário ou outros corretivos, como o silicato, e pode-se optar também pela correção dos teores de fósforo no solo. O fósforo é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento da cultura e longevidade do canavial. Ao mesmo tempo, é uma operação de grande investimento devido ao custo das fontes fosfáticas. As tecnologias de agricultura de precisão são uma importante ferramenta para a redução do valor do investimento aplicando localizadamente as doses de fósforo. A aplicação foi realizada na Usina Colombo, no município de Santa Adélia, tendo como base de informações a amostragem do solo em grade, que variou de 2 a 5 ha, dependendo das condições de cada propriedade. Com as amostras em mão foram desenvolvidas equações de aplicação de fósforo em função da quantidade de capital disponível para o investimento, das necessidades locais, do ambiente de produção classificado de acordo com a legenda da copersúcar e também da fonte de fósforo disponível. Como resultado, foram criadas 4 equações de recomendação de fósforo que atenderam as necessidades das áreas da usina. O uso das tecnologias de agricultura de precisão resultaram em redução do consumo de insumos de aproximadamente 16,1 % com relação à aplicação de fósforo em área total da forma tradicional. Desta forma, a agricultura de precisão torna mais viáveis grandes investimentos na construção da fertilidade dos solos, contribuindo, assim, para a redução global dos custos de produção da cana-de-açúcar.

PALAVRAS CHAVE: aplicação em taxa variada; fosfatagem; calagem.

## PHOSPHORUS AND LIME RECOMMENDATION FOR VARIABLE RATE APPLICATION ON SUGAR CANE CROPS

SUMMARY: Sugar cane crop covers a huge area in Brazil. The soil fertility management is based on soil sampling on areas not higher than 100 ha. The area is evenly sampled and the sub-samples were mixed to for the sample, which is sent to the laboratory. Recommendations of fertilizers and correction operations are made following the results from soil analysis. The most important fertilization on the crop is done for planting, when a great part of the fertilizer and all soil correction of acidity and/or phosphorus level are done. Phosphorus is a potential limiting factor to have high yields and long life for the sugar cane crop and also, it is the more expensive fertilizer used in sugar cane. Precision farming technologies may be an important tool to reduce

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, MsC, Consultor, APagri – Soluções em Agricultura de precisão, Rua Men de Sá, 466, Castelinho Piracicaba, SP CEP 13403-046, [leonardo@apagri.com.br](mailto:leonardo@apagri.com.br) 0xx19 9601 9573

<sup>2</sup> Eng Agrônomo, Prof Titular, Universidade Federal de Uberlândia

<sup>3</sup> Eng Agrônomo, gerente agrícola, Usina Colombo

<sup>4</sup> Eng Agrônomo, Consultor, PL Consultoria

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Consultor, APagri

the use and the cost of phosphorus soil correction. This study was performed in a sugar mill named Companhia Agrícola Colombo, located in Santa Adélia, State of São Paulo, Brazil. A soil grid sampling was performed, with sampling density ranging from 2 to 5 ha/sample, depending on each field condition. Based on the fertility level of the soil, the expertise of fertilizing of the technicians, the amount of capital available for the investment, potential production classification and spatial variations of fertility factors, 4 recommendation equations were developed to apply different rates thru the field. The variable rate application reduced the use of phosphorus in approximately 16,1 % compared to the traditional application, reducing the amount of money invested. In this way, precision farming technologies contribute to build the soil fertility reducing costs and reducing the total cost of implementation of sugar cane crop.

KEYWORDS: variable rate technology; phosphorus application; lime application

## INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância para a agricultura nacional, com safra anual de aproximadamente 317.229.333 toneladas no ano de 2003. O estado de São Paulo é o maior produtor, com uma representação de 60,4% da produção brasileira, com algumas concentrações nos pólos Piracicaba e Ribeirão Preto. As áreas cultivadas com cana-de-açúcar são majoritariamente propriedades das usinas, as quais administram grandes extensões de terras, tendo como exemplos a Companhia Agrícola Colombo, com 51,2 mil ha e localizada na região de Catanduva.

As decisões tomadas para manejo destas áreas têm grande impacto no setor financeiro das usinas, visto que se trata de grandes extensões de terra. Operações de adubação ilustram bem este tipo de situação, devido ao alto custo de alguns fertilizantes. Esta atividade é realizada com base nos dados de análise química de terra, determinados através de amostras predominantemente retiradas de modo tradicional, ou seja, as lavouras são divididas em talhões, dos quais são retiradas diversas subamostras que são misturadas para compor uma única amostra representativa da área. RAIJ (1990), recomenda a delimitação de glebas homogêneas em até 10 ha, sendo retiradas de 15 a 20 subamostras, as quais irão compor a amostra referente à esta área. Na prática, as glebas delimitadas para amostragem chegam a valores de até 100 ha, principalmente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e em áreas de grande extensão, como a região de cerrados. As metodologias de amostragem descritas anteriormente certamente subestimam a variabilidade espacial dos teores de nutrientes no solo. RAIJ (1991), já descrevia a variabilidade espacial do solo como centimétrica. A aplicação de fertilizantes a uma dose (taxa) fixa em áreas de aproximadamente 100 ha resultaria, muito provavelmente, em excesso e/ou falta de fertilizantes no solo.

A agricultura de precisão surge como um conjunto de tecnologias e técnicas utilizadas com a finalidade de intervir na lavoura de acordo com as suas necessidades específicas, levando-se em consideração a variabilidade espacial de seus atributos. Neste contexto, amostragens de solo podem ser realizadas de modo a gerar mapas de fertilidade, ilustrando a variabilidade espacial dos nutrientes presentes na lavoura. Os mapas de fertilidade do solo são gerados através do georreferenciamento das amostras de solo, inserindo-se estes dois tipos de dados, coordenadas geográficas e valores de fertilidade, em programas específicos para análise de dados especializados, denominados SIG (sistema de informações geográficas). Através da técnica de interpolação, pontos não amostrados nos mapas têm seus valores estimados com base nos pontos amostrados. Assim, à toda a superfície do mapa são atribuídos valores de fertilidade. A fidelidade dos mapas dependem, dentre outros fatores, da densidade amostral utilizada, ou seja, do número de amostras representativas da área em questão. A densidade amostral mais utilizada para a confecção de mapas de fertilidade é de 2 a 5 ha por amostra, tendo como base para a distribuição dos pontos o contorno da lavoura. A densidade amostral também depende do histórico da área, da sua homogeneidade e do capital destinado a esta operação.

Os mapas de recomendação de adubação são feitos com base nos mapas de fertilidade, aplicando-se uma equação específica de recomendação para cada ponto do mapa. Tais mapas são

lidos e interpretados por um equipamento denominado controlador de aplicação que identifica a dosagem a ser aplicada localizadamente e a aplica. Desta forma, a quantidade de produto aplicada ao solo depende única e exclusivamente das necessidades daquele nutriente naquele local.

Uma das adubações mais importantes realizadas na cultura da cana-de-açúcar é a adubação de plantio associada com a aplicação de corretivos no solo. A importância desta operação incide no fato de que a base para a produção da cultura está sendo estabelecida neste momento e terá duração mínima de 5 anos. Neste momento faz-se a correção da acidez do solo, com aplicação de calcário ou outros corretivos, como o silicato, e pode-se optar também pela correção dos teores de fósforo no solo. O fósforo é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento da cultura e longevidade do canavial. Ao mesmo tempo, é uma operação de grande investimento devido ao custo das fontes fosfáticas. As tecnologias de agricultura de precisão são uma importante ferramenta para a redução do valor do investimento aplicando localizadamente as doses de fósforo.

O objetivo deste trabalho é relatar uma forma de recomendação de adubação que utilize além dos teores dos nutrientes presentes no solo, condições específicas da propriedade, como o capital disponível para o investimento, fonte de fósforo disponível e ambiente de produção.

## MATERIAL E MÉTODOS

O material básico para o trabalho são amostras de solo coletadas nas propriedades selecionadas para reforma da Usina Colombo. Como prática agrícola comum, tais propriedades recebem a aplicação de um corretivo da acidez do solo e, excepcionalmente nesta reforma, foi aplicado um corretivo de fósforo. As amostras do solo foram coletadas no sistema de grade, com densidade de 3 ha/amostra, sendo que cada amostra é composta por 8 sub-amostras, coletadas num raio de 10 m ao redor do ponto. O equipamento utilizado na coleta foi um amostrador de solo da marca APE, fabricado em Ituverava.

As amostras foram analisadas em laboratório e, através da junção entre a posição e os atributos dos pontos, foi realizado o georreferenciamento das análises. A partir dos pontos georreferenciados, foram gerados mapas temáticos sobre a fertilidade do solo. A partir destes mapas foram geradas as recomendações de aplicação de fósforo e calcário.

Com os dados sobre a fertilidade do solo, a quantidade de dinheiro disponível para o investimento em fósforo e calcário, o auxílio de uma planilha eletrônica de cálculo e o custo das diferentes fontes de fósforo, foram desenvolvidas equações para a recomendação dos corretivos em função da disponibilidade dos nutrientes no solo, além de levar em consideração o tipo e as características físico-químicas dos diferentes solos, classificados em ambientes de produção, de acordo com a legenda da Copersúcar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações geradas de acordo com as especificações ou particularidades de cada situação são apresentadas a seguir, juntamente com as suas respectivas representações gráficas. Logo em seguida são apresentados alguns mapas de recomendação de aplicação gerados a partir das equações descritas abaixo.

A recomendação de aplicação de fósforo estabelecida para teores de P no solo variando entre 7 e 20 mg/dm<sup>3</sup>, utilizando-se como fonte superfosfato triplo, para o ambiente de produção B, é apresentada na EQUAÇÃO 1.

$$[P_2O_5 \text{ aplicado}] = -10 * [P_{\text{no solo}}] + 240 \quad (1)$$

em que:

$P_2O_5 \text{ aplicado}$  – é a quantidade de fósforo recomendada em kg/ha

$P_{\text{no solo}}$  – é o teor de P no solo em mg/dm<sup>3</sup>

A máxima dosagem de superfosfato triplo foi definida em função do capital disponível para o investimento. Neste caso, a dose máxima viável economicamente foi de 170 Kg de  $P_2O_5$  / ha quando o teor de  $P_2O_5$  no solo era inferior a 7  $mg/dm^3$ . Para teores de P no solo variando entre 7 e 20  $mg/dm^3$ , a recomendação foi feita utilizando-se a Equação 1. O limite mínimo de aplicação foi definido como 100 kg/ha de produto, equivalente a 42 kg/ha de  $P_2O_5$ . Tal limite foi definido em função do equipamento utilizado para a aplicação apresentar dificuldades para aplicação de doses menores que 100 kg/ha. Assim, para valores de P no solo variando entre 20 e 24  $mg/dm^3$ , foi recomendada a aplicação de 42 kg/ha de  $P_2O_5$ . Graficamente, a recomendação pode ser expressa como mostra a FIGURA 1.

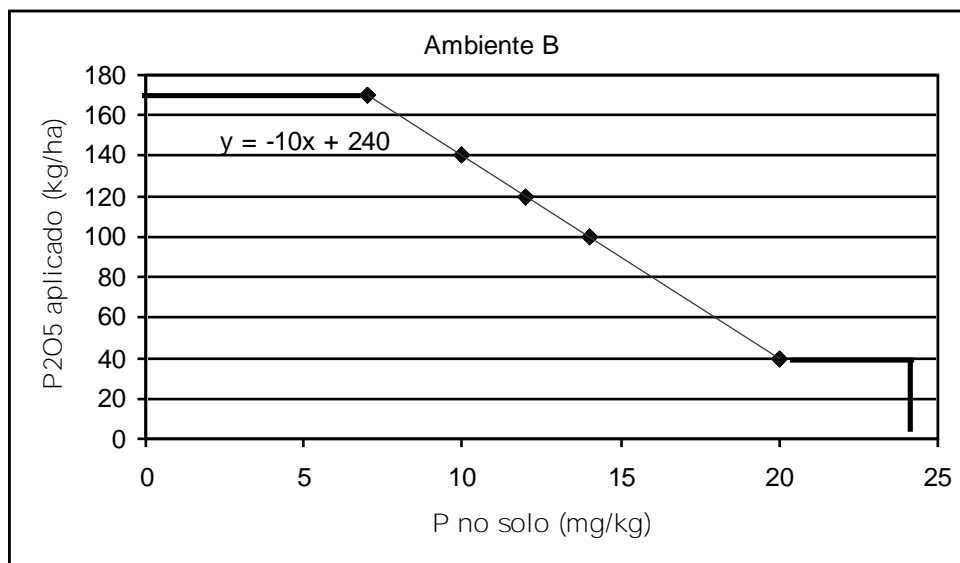


FIGURA 1 – Representação gráfica da recomendação de aplicação de fósforo em ambiente B, sendo o superfosfato triplo a fonte de fósforo.

Para os ambientes C e D, a equação de recomendação de fósforo estabelecida para teores de P no solo variando entre 7 e 18  $mg/dm^3$ , utilizando como fonte de fósforo o superfosfato triplo, é apresentada na EQUAÇÃO 2.

$$[P_2O_5 \text{ aplicado}] = -7,15 * [P_{\text{no solo}}] + 170 \quad (2)$$

em que:

$P_2O_5$  aplicado – é a quantidade de fósforo recomendada em kg/ha

$P_{\text{no solo}}$  – é o teor de P no solo em  $mg/dm^3$

Quando o teor de P no solo variou de 0 a 7  $mg/dm^3$ , foi aplicado uma taxa fixa de 120 kg/ha de  $P_2O_5$ . Para teores de P no solo variando entre 7 e 18  $mg/dm^3$  a aplicação seguiu a EQUAÇÃO 2, e para teores de P no solo variando de 18 a 24  $mg/dm^3$  foi aplicado uma taxa fixa de 42 kg/ha de  $P_2O_5$ , equivalente a 100 kg/ha de produto. A Figura 2 mostra graficamente a resposta da aplicação à recomendação.

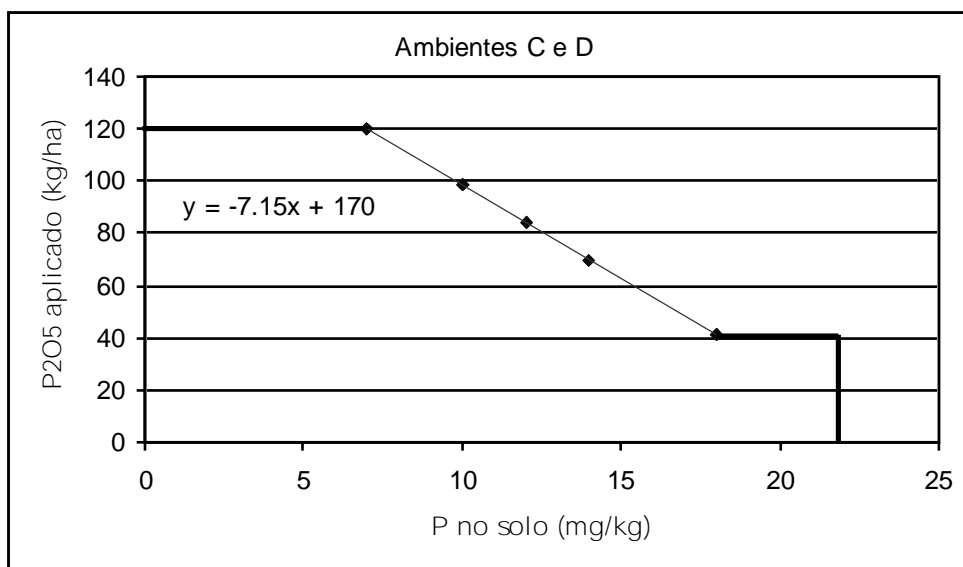


FIGURA 2 - Representação gráfica da recomendação de aplicação de fósforo em ambientes C e D, sendo o superfosfato triplo a fonte de fósforo.

Devido aos custos do superfosfato triplo, a fonte de fósforo foi substituída por fosfatos naturais reativos, sendo utilizados o Fosfato Natural de Arad, e em seguida o Fosfato Reativo de Gafsa, ambos com a mesma recomendação de aplicação. A maior parte da aplicação foi feita com o Fosfato de Gafsa e, sendo assim, este foi utilizado como base para cálculo da quantidade de produto recomendado nas situação abaixo desenvolvidas. As condições de preço e de oportunidade foram as mesmas para ambos os produtos.

A aplicação de fósforo utilizando-se o Fosfato Reativo de Gafsa, tendo como base o ambiente B, é representada pela EQUAÇÃO 3.

$$[P_2O_5 \text{ aplicado}] = -10 * [P_{\text{no solo}}] + 310 \quad (3)$$

em que:

$P_2O_5 \text{ aplicado}$  – é a quantidade de fósforo recomendada em kg/ha

$P_{\text{no solo}}$  – é o teor de P no solo em  $mg/dm^3$

Para um teor de P no solo variando entre 0 e 7  $mg/dm^3$ , foi recomendado uma taxa fixa de 240 kg/ha de  $P_2O_5$ , equivalente a 857 kg/ha de Gafsa. Para teores de P no solo variando entre 7 e 28  $mg/dm^3$ , a quantidade recomendada seguiu a Equação 3. Para valores entre 28 e 31  $mg/dm^3$ , foi recomendado uma taxa fixa de 28 kg/ha de  $P_2O_5$ , equivalente a 100 kg/ha de produto. A figura 3 mostra graficamente a recomendação utilizada.

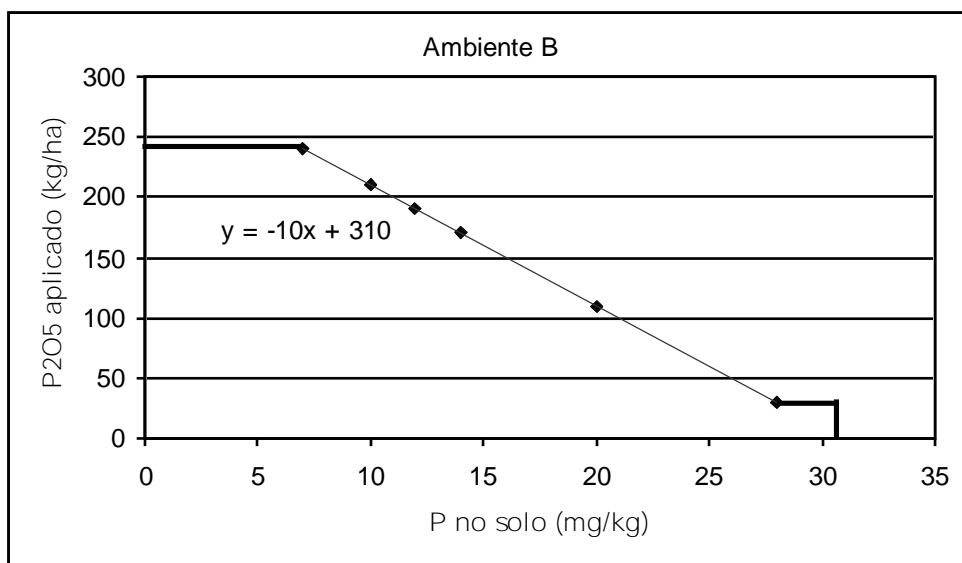


FIGURA 3 - Representação gráfica da recomendação de aplicação de fósforo em ambiente B, sendo o Fosfato Reativo de Gafsa a fonte de fósforo.

Para os ambientes C e D, a equação de aplicação do Fosfato Reativo de Gafsa é representada pela EQUAÇÃO 4.

$$[P_2O_5 \text{ aplicado}] = -7.14 * [P_{\text{no solo}}] + 240 \quad (4)$$

em que:

$P_2O_5 \text{ aplicado}$  – é a quantidade de fósforo recomendada em kg/ha

$P_{\text{no solo}}$  – é o teor de P no solo em  $mg/dm^3$

Para os ambientes C e D foi definido que a dose máxima de  $P_2O_5$  aplicado deve ser de 190 kg/ha. Assim sendo, para teores de P no solo variando entre 0 e 7  $mg/dm^3$  foi recomendado uma dose fixa de 190 kg/ha de  $P_2O_5$ . Para teores de P no solo variando de 7 a 29  $mg/dm^3$  a recomendação seguiu a EQUAÇÃO 4, sendo que na faixa de 29 a 34  $mg/dm^3$  foi aplicada uma taxa fixa de 28 kg/ha de  $P_2O_5$ . A Figura 4 mostra a recomendação aplicada na forma de um gráfico.

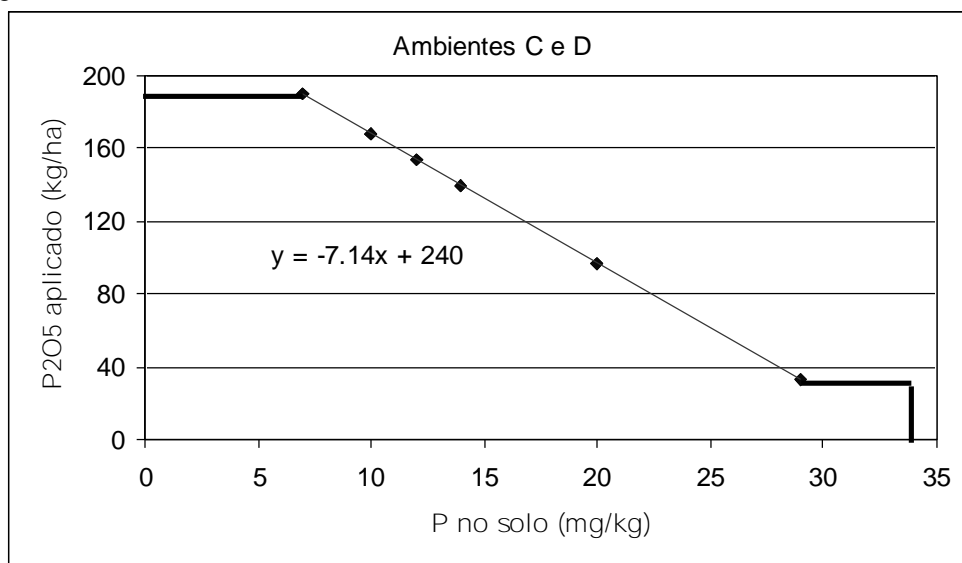


FIGURA 4 - Representação gráfica da recomendação de aplicação de fósforo em ambientes C e D, sendo o Fosfato Reativo de Gafsa a fonte de fósforo.

Para a aplicação de calcário foi utilizada a recomendação formulada pela Copersúcar, representada pela EQUAÇÃO 5.

$$NC = ( 30 - ( [Ca] + [Mg] ) ) * 100 \quad (5)$$

Em que:

NC – é a necessidade de calcário em t/ha

Ca – é o teor de cálcio no solo em mmolc/dm<sup>3</sup>

Mg – é o teor de magnésio no solo em mmolc/dm<sup>3</sup>

Em função da profundidade de incorporação do calcário, foi aplicado um fator para correção, originando a EQUAÇÃO 6.

$$NC = ( 30 - ( [Ca] + [Mg] ) ) * 100 * 1,5 \quad (6)$$

Em que:

NC – é a necessidade de calcário em t/ha

Ca – é o teor de cálcio no solo em mmolc/dm<sup>3</sup>

Mg – é o teor de magnésio no solo em mmolc/dm<sup>3</sup>

O principal produto utilizado foi o Calcário ITAÚ, com PRNT de 95%. O teor de magnésio do calcário o classifica com magnesiano. Em caráter experimental foi adquirida uma partida de calcário calcítico, com PRNT de 110 %. Este calcário foi aplicado nas fazendas 286, 455 e 191 devido às necessidades apresentadas por estas propriedades.

Os mapas de recomendação de aplicação de fósforo e gesso para as 130 propriedades em reforma da Companhia Agrícola Colombo foram gerados com base nas equações descritas acima. A avaliação das recomendações geradas para uma das propriedades da usina são discutidas a seguir.

A propriedade denominada 011-Vebe possui uma área de 57 ha de ambiente de produção classificado como C e D, onde foram realizadas aplicações de Fosfato de Arad em dosagens de acordo com o gráfico representado pela Figura 4. A dose máxima de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> determinada para este ambiente de produção, 190 kg/ha, limitou a aplicação do produto a uma dose máxima de 633.3 kg/ha. A dose mínima para esta situação é de 28 Kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o equivalente a 100 kg/ha de produto. A figura 5 ilustra o mapa de recomendação de aplicação de Fosfato de Arad na propriedade 011-Vebe.

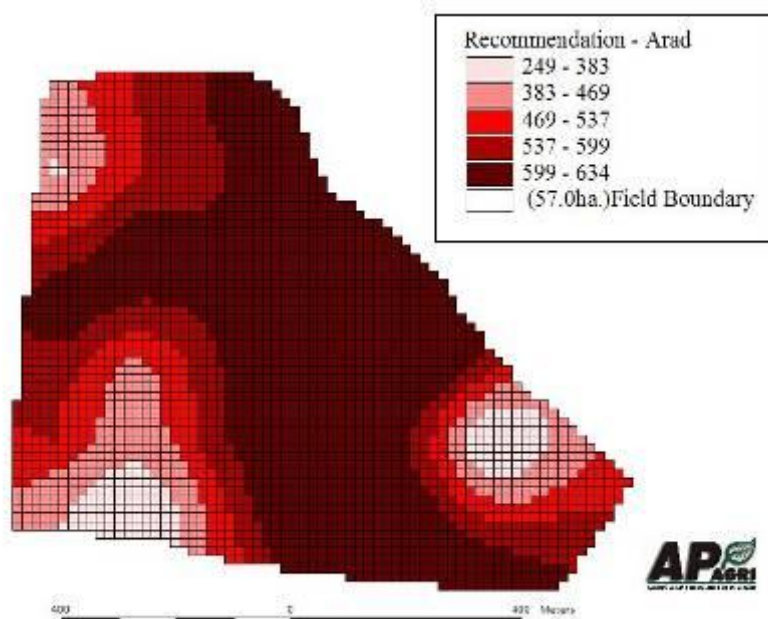


FIGURA 5. Mapa de recomendação de aplicação de Fosfato de Arad para propriedade 011-Vebe elaborado de acordo com as recomendações específicas para a consiço.

É possível observar, através do mapa ilustrado na FIGURA 5, uma ampla variação de doses de aplicação, que variam de 249 a 634 Kg/ha de produto. Há portanto, uma variação de 383 Kg/ha de dosagem ao longo desta área. A dosagem média de aplicação do produto é de 562 Kg/ha, sendo que nos 57 ha desta área foram aplicadas 32 t do produto. Comparada à aplicação em taxa fixa, o consumo total de produto seria de 36,2 t, resultando em economia de 4,2 t de produto. Neste caso, a redução foi de aproximadamente 13 %, enquanto que, para toda a área de reforma da usina, a redução foi estimada em aproximadamente 16,1 % no consumo de produto. A FIGURA 6 mostra o mapa de recomendação de aplicação de calcário para a mesma propriedade.

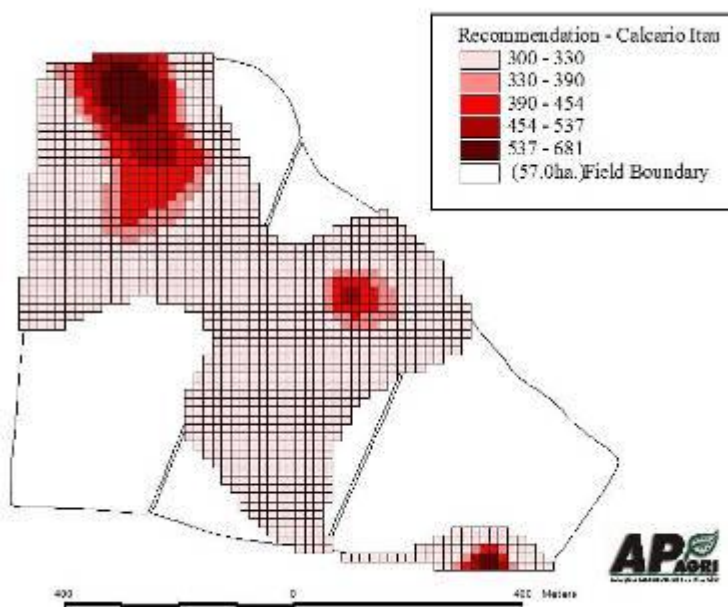


FIGURA 6 – Mapa de recomendação de calcário magnésiano para aplicação na fazenda 011-Vebe.

Diferentemente do mapa de aplicação de fósforo (FIGURA 5), o mapa de aplicação de calcário evidenciam a não necessidade de aplicação do produto em área total. A aplicação de calcário foi, então, direcionada apenas aos locais onde há recomendação de produto. As dosagens variaram de 300 a 681 kg/ha, e o consumo total de produto foi de 10,6 t. Sem a possibilidade de aplicação em taxa variada, poderia ser aplicada uma taxa fixa de 1000 kg/ha ou então deixar de aplicar calcário nesta fazenda. Com relação ao primeiro caso, a economia de insumo foi estimada em 47 t de calcário. Porém, se comparada à segunda possibilidade, em que nenhum insumo é gasto, a aplicação em taxa variada gerou consumo maior de insumo. Entretanto, a aplicação das doses localizadas tende a nivelar a disponibilidade de cálcio e magnésio no solo, favorecendo o desenvolvimento da cultura e, por conseguinte, a produtividade do canavial. Porém, este efeito não foi medido em função da recente implantação do canavial. À medida que o canavial for se desenvolvendo, novas medições poderão ser feitas para avaliar o uso das tecnologias utilizadas.

## CONCLUSÕES

As tecnologias envolvidas na agricultura de precisão permitem que o processo de recomendação de fertilizantes e corretivos seja bastante diversificado. O reconhecimento da existência da variabilidade espacial e seu manejo permitem que as recomendações sejam localizadas em função da variação dos fatores físicos e químicos ligados ao solo. A conjugação de fatores externos à fertilidade, como por exemplo, os ambientes de produção, tem muito a contribuir na melhoria dos métodos de geração de recomendações. O uso integrado de informações relativas à fertilidade do solo e ambiente de produção proporcionaram, no caso estudado, um detalhamento significativo das recomendações utilizadas, possibilitando a melhoria das condições de implementação do canavial e redução no consumo de insumos.

O desenvolvimento do canavial implantado em áreas com aplicação de calcário e fósforo em taxa variada permitirá, no futuro, novas observações sobre os efeitos da aplicação na longevidade e na produtividade da cultura.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Agrícola Colombo e à sua equipe pelo suporte dado durante a realização do trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RAIJ, B.V. *Fertilidade do solo e adubação*. Campinas, Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1991. 93-94p.

RAIJ, B.V. *Fertilidade do solo e adubação*. Campinas, Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1991. 90p.