

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE  
PRECISÃO**

**O IMPACTO DA VARIAÇÃO ENTE AS DOSES DE  
CALCÁRIO NA DISTRIBUIÇÃO A LANÇO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**LEONARDO KERBER**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2016**

**Leonardo Kerber**

**O IMPACTO DA VARIAÇÃO ENTRE AS DOSES DE  
CALCÁRIO NA DISTRIBUIÇÃO A LANÇO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**

**Orientador: Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2016**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Kerber, Leonardo

O impacto da variação entre as doses de calcário na distribuição a lanço / Leonardo Kerber.- 2016.  
29 p.; 30 cm

Orientador: Telmo Amado

Coorientadores: Jackson Fiorin, Rafael Bortolotto

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2016

1. Agricultura de Precisão 2. Mapas 3. Pixel I.  
Amado, Telmo II. Fiorin, Jackson III. Bortolotto, Rafael  
IV. Título.

---

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Leonardo Kerber. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

e-mail: lkerber@cotrijal.com.br

**Leonardo Kerber**

**O IMPACTO DA VARIAÇÃO ENTRE AS DOSES DE CALCÁRIO NA  
DISTRIBUIÇÃO A LANÇO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**

Aprovado em 29 de janeiro de 2016:

---

**Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Rafael Pivotto Bortolotto, Dr. (UNICRUZ)**

---

**Jackson Ernani Fiorin, Dr. (CCGL TEC/UNICRUZ)**

Santa Maria, RS  
2016

Precisamos dar um sentido humano às nossas construções. E, quando o amor ao dinheiro, ao sucesso nos estiver deixando cegos, saibamos fazer pausas para olhar os lírios do campo e as aves do céu.

(Erico Verissimo)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre iluminar o caminho e nos abençoar com saúde e alegria durante a “estrada da vida”.

A Universidade Federal de Santa Maria, através do Colégio Politécnico da UFSM, ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, pela oportunidade.

A empresa Cotrijal pelo incentivo a se aperfeiçoar e buscar novas fronteiras e se tornar um profissional melhor.

Aos Professores pelo ensino e pela transmissão de sabedoria.

Ao orientador, pela oportunidade e conhecimento transmitido.

E a minha esposa e filhos, pela compreensão, ajuda e apoio.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### O IMPACTO DA VARIAÇÃO ENTRE AS DOSES DE CALCÁRIO NA DISTRIBUIÇÃO A LANÇO

AUTOR: LEONARDO KERBER

ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 29 de janeiro de 2016.

A essência da Agricultura de Precisão se traduz pela adoção de técnicas para executar os tratamentos localizados fornecendo os nutrientes que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento e expressão do potencial produtivo. Uma aplicação bem sucedida de corretivos ou fertilizantes, em taxa fixa ou variada, dependerá de máquinas devidamente reguladas e calibradas, das propriedades físicas dos corretivos e fertilizantes e de mapas de recomendação bem elaborados. Na execução deste trabalho foi utilizado um equipamento com mecanismo dosador volumétrico tipo esteira e mecanismo distribuidor centrífugo de duplo disco. A avaliação da qualidade da aplicação foi baseada nos arquivos gerados pelos controladores, que registram informações como a quantidade aplicada, comparando as metodologias de geração de arquivos de recomendação. Os dados mostram que o mesmo equipamento utilizando arquivos de recomendação elaborados de forma diferentes influencia na qualidade da aplicação. O arquivo que contém um tamanho de pixel menor, de 3,43 x 3,55 metros, com a variação da dose de calcário de 9 a 18 kg/ha<sup>-1</sup> e uma recomendação que utiliza a equação de uma linha de tendência polinomial correlacionando o Índice SMP com a dose de calcário em t/ha<sup>-1</sup> influenciam no tempo de resposta do sistema, proporcionando uma assertividade na qualidade da aplicação de 98,35%. O arquivo que contém um tamanho de pixel maior, de 6,10 x 5,91 metros, com a variação da dose de calcário de 500 a 700 kg/ha<sup>-1</sup> e uma recomendação com base nos valores estimados de calcário para cada classe do Índice SMP, sem correlaciona-los tem uma assertividade de 85,13% na qualidade da aplicação. De maneira geral, os resultados mostram que uma aplicação de corretivos ou fertilizantes é influenciada por questões mecânicas, qualidade física dos produtos e pela geração de arquivos de aplicação, independente da recomendação a ser seguida.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão, Mapas, Pixel, Qualidade.

## **ABSTRACT**

Master of Science Dissertation  
Graduate Program in Precision Agriculture  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

### **THE IMPACT VARIATION BETWEEN THE LIMESTONE DOSES ON DISTRIBUTION HAUL**

AUTHOR: LEONARDO KERBER

ADVISOR: ALEXANDRE RUSSINI

Location and Date of Presentation: Santa Maria, 29 de janeiro 2016.

The essence of Precision Agriculture is reflected by the adoption of techniques to perform localized treatments providing the nutrients that plants need for their development and expression of the productive potential. A successful application of lime and fertilizers, in fixed or variable rate will depend on properly adjusted and calibrated machines, the physical properties of lime and fertilizer recommendation and well-designed maps. In implementing this study we used a device with volumetric metering system, track-type and mechanism of double-disc broadcaster spreader. The evaluation of application quality was based on the files generated by the controllers, which record information such as the amount applied by comparing methodologies to generate recommendation files. The data show that the same apparatus using the recommendation of different files prepared in the application medium influences the quality. The file contains a smaller pixel size of 3,43 x 3,55 meters, with the variation of liming 9 to 18 kg / ha<sup>-1</sup> and a recommendation that uses the equation of a polynomial trendline correlating SMP index with liming t / ha<sup>-1</sup> influence on system response time, providing an assertiveness in applying the quality of 98,35%. The file contains a larger pixel size of 6,10 x 5,91 meters, with the variation of limestone dose of 500 to 700 kg / ha<sup>-1</sup> and a recommendation based on the estimated values of limestone for every class Index SMP without correlates them has an assertiveness 85,13% in application quality. In general, the results show that an application of corrective or fertilizers is influenced by mechanical issues, the physical quality of products and the generation of implementation files, regardless of recommendation to be followed.

**Keywords:** Precision Agriculture, Maps, Pixel, Quality.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trajetória de fertilizantes com grânulos de dois diâmetros distintos .....	15
Figura 2 – Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes e do alumínio no solo.....	16
Figura 3 – Alteração no pH em $\text{CaCl}_2$ e nos teores de $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Mg}^{2+}$ trocáveis, em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho textura média, considerando a calagem na superfície em sistema plantio direto. Calcário dolomítico aplicado em 1993. Pontos são médias de cinco amostragens de solo realizadas no período de 1993 a 1998 .....	17
Figura 4 – Valores de pH em água (a), pH $\text{CaCl}_2$ 0,01 mol $\text{L}^{-1}$ (b), alumínio trocável (c), cálcio trocável (d), magnésio trocável (e) e CTC efetiva ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) do solo quatro semanas após a aplicação ou não de calcário superficial. ....	18
Figura 5 – Detalhamento de um sistema de taxa variável.....	19
Figura 6 – Mapa de recomendação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 $\text{kg ha}^{-1}$ (A); Mapa de recomendação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 $\text{kg ha}^{-1}$ (B) .....	20
Figura 7 – Mapa de aplicação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 $\text{kg ha}^{-1}$ (A); Mapa de aplicação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 $\text{kg ha}^{-1}$ (B). ....	21
Figura 8 – Mapa de aplicação baseado no mapa de recomendação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 $\text{kg ha}^{-1}$ (A); Mapa de aplicação baseado no mapa de recomendação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 $\text{kg ha}^{-1}$ (B) .....	22
Figura 9 – Resultado da subtração do mapa de recomendação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 $\text{kg ha}^{-1}$ pelo mapa de aplicação (A); Resultado da subtração do mapa de recomendação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 $\text{kg ha}^{-1}$ pelo mapa de aplicação (B) .....	23
Figura 10 - Tempo de resposta e de transição de doses para o mapa de recomendação de calcário com pixel de 3,43 x 3,55 metros, com variação de dose de 9 a 18 $\text{kg ha}^{-1}$ (A). Tempo de resposta e de transição de doses para o mapa de recomendação com pixel de 5,90 x 6,09 metros, com variação de dose de 500 a 700 $\text{kg ha}^{-1}$ (B).....	24

Figura 11 – Relação entre a dose de calcário recomendada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e a dose de calcário aplicada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18  $\text{kg ha}^{-1}$ . Condição ideal (A) comparada a condição real (B).....25

Figura 12 – Relação entre a dose de calcário recomendada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e a dose de calcário aplicada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700  $\text{kg ha}^{-1}$ . Condição ideal (A) comparada a condição real (B)...25

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 HIPÓTESES E OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Hipótese .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivo Geral.....</b>	<b>12</b>
2.1.1. Objetivos específicos.....	12
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Agricultura de precisão .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Corretivos e fertilizantes.....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Corretivos .....	14
3.2.2 Fertilizantes .....	15
<b>3.3 Recomendação de calagem .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Aplicação de insumos em taxa variada.....</b>	<b>18</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>22</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>

# 1INTRODUÇÃO

O Brasil vem se consolidando como um dos principais produtores e exportadores mundiais de alimentos, garantindo o abastecimento interno e aumentando a participação no comércio internacional.

Com a produção de grãos da safra 2015/2016 estimada em 211 milhões de toneladas, um crescimento de 1,5% em relação a safra anterior o setor agropecuário contribuí decisivamente para este cenário (MAPA, 2015).

Responsável por mais de 55% da área cultivada do país, a cultura da soja desempenha papel fundamental na economia do agronegócio (MAPA, 2015). Segundo estimativa da CONAB (2015), há estimativa de que a cultura atinja produtividades superiores a safras anteriores em todos os estados produtores.

O aumento de produtividade é um dos grandes desafios imposto aos produtores rurais atualmente. Esse fato deve-se não somente ao incremento na renda frente aos aumentos no custo de produção, como pela alta valorização do preço da terra. Com isso, cada vez mais é necessário ser mais eficiente no local onde já está se produzindo.

Um dos fatores primordiais para elevar a produtividade tanto de soja, como das demais culturas, é o manejo adequado do solo. Um dos primeiros passos desse manejo é uma boa amostragem do solo para levantar a situação da fertilidade. Atualmente, com surgimento da Agricultura de Precisão, essa etapa pode ser feita de maneira georreferenciada. Dessa forma, é possível fazer o levantamento detalhado da fertilidade do solo, geralmente com uma amostra por hectare, o que propicia sua correção no local e quantidade de corretivo precisos.

Grande parte dos solos brasileiros, notadamente aqueles em que estão ocorrendo a expansão da fronteira agrícola, como os solos sob cerrados, apresentam características de acidez, toxidez de  $Al^{3+}$  e/ou  $Mn^{2+}$  e também baixos níveis de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Além disso, nos últimos anos, tem se observado alta correlação entre o pH do solo, ausência de  $Al^{3+}$  e aumento do teor de  $Ca^{2+}$  em profundidade no solo com a produtividade, principalmente, de soja. Exemplo disso, são os cases dos campeões nacionais de produtividade de soja (CESB, 2017).

Partindo-se desse pressuposto, o incremento de produtividade das culturas anuais é altamente dependente da correção do pH do solo através da prática da

calagem. Neste ponto, a Agricultura de Precisão tem ganhado espaço, através da utilização de técnicas como as aplicações de calcário em taxa variada onde é efetuada no local e com a quantidade exatas que o solo necessita. No entanto, para tal, alguns ajustes técnicos necessitam ser feitos. Dentre eles a avaliação de desempenho do equipamento utilizado na distribuição do corretivo.

Uma das estratégias que pode auxiliar na melhor distribuição é o ajuste do mapa de aplicação de calcário através da redução do tamanho dos pixels. Com isso, a interpretação do controlador do equipamento de distribuição é realizada de maneira mais rápida proporcionando maior assertividade na aplicação da dose estimada.

Com base neste cenário, a objetivo deste trabalho é avaliar o impacto da variação entre as doses de calcário na distribuição a lanço comparando o desempenho de um distribuidor utilizando dois mapas de recomendação de calcário gerados com diferentes tamanhos de pixel.

## **2 HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 Hipótese**

A redução do tamanho do pixel dos mapas de aplicação de calcário diminui a variabilidade entre a dose estimada e aplicada proporcionando maior assertividade na distribuição desse corretivo.

### **2.2 Objetivo Geral**

Comparar a assertividade na aplicação de calcário entre a dose estimada e aplicada utilizando mapas de prescrição com diferentes tamanho de pixel.

#### **2.2.1 Objetivos Específicos**

- Avaliar se a redução do tamanho do pixel do mapa de aplicação aumenta a assertividade entre a dose estimada e aplicada de calcário.

- Verificar se a baixa variação entre as doses aliada ao uso de mapas de recomendação com pixels grandes diminuem o percentual de acerto nas doses de calcário aplicadas em relação às doses de calcário recomendadas.

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Agricultura de Precisão**

A Agricultura de Precisão tem como objetivo o aumento do rendimento através de um conhecimento detalhado, fundamental à tomada de decisões que melhore a eficiência dos recursos utilizados (Amado; Santi, 2007)

Segundo Luz & Otto (2010) a maior parte da área agricultável brasileira utiliza o sistema convencional o que subestima ou superestima a dose dos corretivos e fertilizantes. Um dos pré-requisitos para implantação da Agricultura de Precisão é o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos e da produtividade minimizando as ineficiências da produção agrícola e aumentar o retorno econômico do produtor

A agricultura de precisão é um método de administração cuidadosa e detalhada do solo e da cultura para adequar as diferentes condições encontradas em cada pedaço da lavoura, tendo em vista a desuniformidade intrínseca dos solos (MOLIN apud SCHUELLER, 1992; WEIDA e BORGELT, 1993).

### **3.2 Corretivos e fertilizantes**

A caracterização de corretivos e fertilizantes é fundamental, ambos possuem relação direta com os mecanismos dosadores e demais componentes dos equipamentos de distribuição, geralmente, doses maiores de corretivos são aplicadas enquanto que doses menores fertilizantes são aplicadas.

#### **3.2.1 Corretivos**

As propriedades físicas, tais como granulometria e umidade dos principais corretivos da acidez influenciam diretamente na qualidade da aplicação. A granulometria dos corretivos é classificada como pó ou farelo (LUZ, P. H., OTTO, R.,2010).

Segundo Fiorin (2007), os solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina originalmente são ácidos, determinados pelos fatores e processos de sua formação.

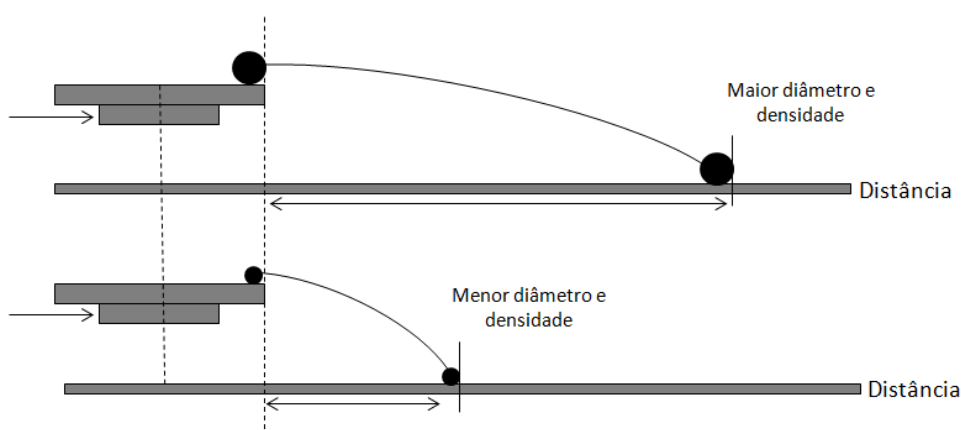
O pH baixo associado a presença de alumínio causa limitação de produtividade das culturas inibindo a absorção de nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento.

A correção da acidez do solo basicamente é realizada com a aplicação de calcário, adicionando quantidades consideráveis de cálcio e magnésio. As recomendações de corretivos devem ser criteriosas principalmente devido às interações existentes entre as propriedades físicas, químicas e biológicas (Fiorion, 2007). As aplicações em nível nacional são tidas como operações de baixa qualidade relacionadas ao baixo custo dos produtos e a baixa tecnologia empregada nos distribuidores (Molin, 2002)

### 3.2.2 Fertilizantes

No caso dos fertilizantes, as propriedades físicas, tais como granulometria, dureza dos grânulos, fluidez ou escoabilidade, densidade, higroscopicidade e empedramento influenciam diretamente na qualidade da aplicação. Os fertilizantes são classificados em sólidos, líquidos e gasosos (LUZ, P. H., OTTO, R., 2010).

A desuniformidade dos grânulos pode causar desuniformidade na aplicação a lance no campo, gerando variação na dose do produto ao longo da faixa de aplicação (Figura 1). Por consequência dessa variação de dose podem ocorrer manchas nas lavouras, ou seja, faixas com excesso de fertilizantes e faixas com falta de fertilizantes



**Figura 1** - Trajetória de fertilizantes com grânulos de dois diâmetros distintos  
**Fonte:** Luz & Otto (2010)

A quantidade a ser aplicada de um determinado fertilizante varia de acordo com a recomendação de fertilizantes adotada, varia de acordo com o teor de



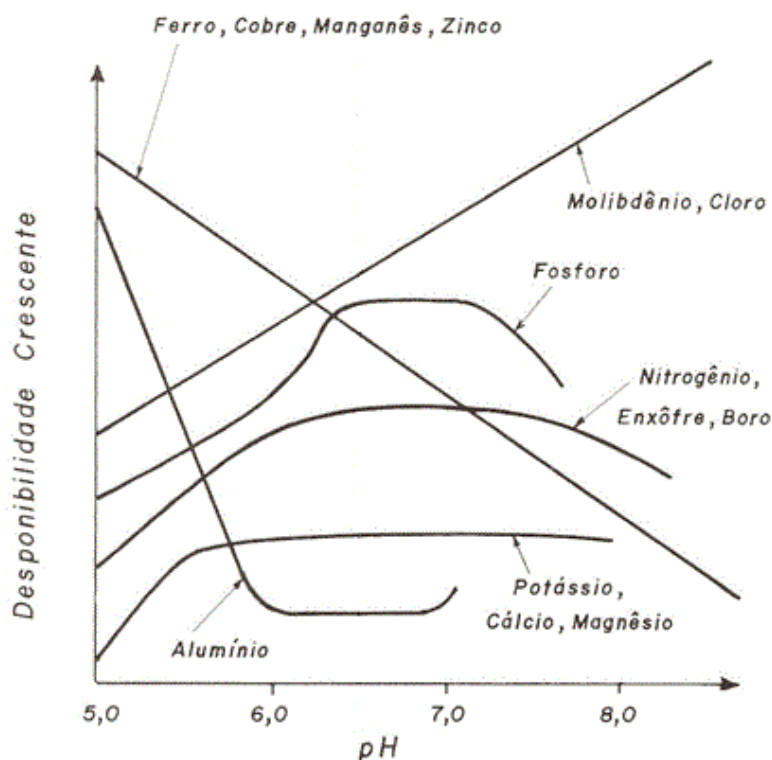
nutrientes no solo, de acordo com a cultura, de acordo com a expectativa de rendimento ou a disponibilidade de recursos financeiros (Fiorin 2007).

### 3.3 Recomendações de calagem

A produção de grãos é significativamente influenciada decorrente da acidez do solo provocando a deficiência de cálcio e a toxidez causada por alumínio e manganês. Com a utilização de calcário é possível corrigir os problemas da acidez do solo (CAIRES, 2013).

Segundo Fiorin (2007), conforme demonstrado na figura 2, a correção da acidez do solo com o aumento do pH promove:

Uma maior CTC pelo aumento nas cargas elétricas negativas na superfície das argilas e óxidos, nas quais nutrientes K, Ca e Mg se encontram adsorvidos, mantendo equilíbrio com a solução do solo. O aumento do pH exerce também um efeito positivo na atividade dos micro-organismos do solo, em especial bactérias.

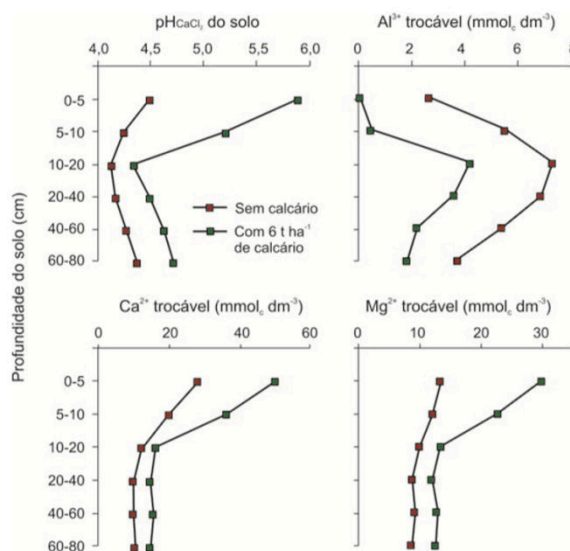


**Figura 2** – Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes e do alumínio no solo  
**Fonte:** Fiorin (2007) apud Malavolta (1981)

Conforme TOMÉ Jr. (1997), o pH do solo se compara a uma febre para o corpo humano, a febre não é uma doença, ela indica a existência de uma doença.

Se os nutrientes se mantiverem disponíveis às plantas, o pH variando de 3,0 a 9,0 seriam tolerados pelas plantas. Com valores de pH abaixo de 4,5, ocorrem problemas no desenvolvimento das plantas devido a indisponibilidade de Ca e Mg, aumento no teor de Al e alta fixação de P, já os valores de pH acima de 7,5 ocorre a deficiência de micronutrientes.

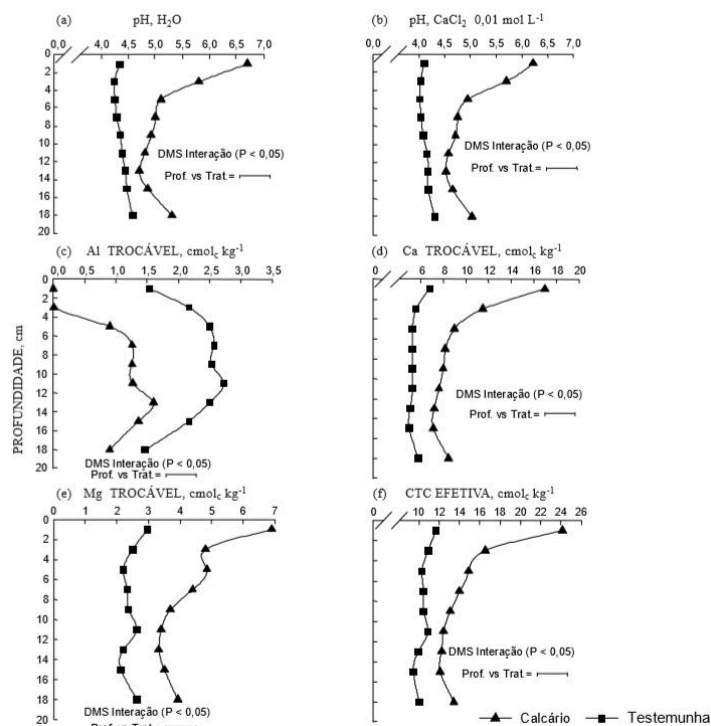
No sistema Plantio Direto a calagem superficial, sem incorporação, normalmente não tem efeito rápido na correção da acidez em profundidade. Entretanto, dependendo das doses de calcário recomendadas, ao longo dos anos pode tornar os efeitos da acidez em profundidade menos nocivos (CAIRES, 2013), conforme demonstrado nas figuras 3 e 4.



**Figura 3** – Alteração no pH em  $\text{CaCl}_2$  e nos teores de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis, em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho textura média, considerando a calagem na superfície em sistema plantio direto. Calcário dolomítico aplicado em 1993. Pontos são médias de cinco amostragens de solo realizadas no período de 1993 a 1998.

**Fonte:** Adaptada de Caires et al. (2000).

A aplicação de calcário em solos com formações distintas tendem a ter uma reação diferenciada em relação ao deslocamento vertical no solo, ou seja, quanto maior for o teor de argila, normalmente a descida do calcário no perfil do solo é mais lenta.



**Figura 4** – Valores de pH em água (a), pH CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (b), alumínio trocável (c), cálcio trocável (d), magnésio trocável (e) e CTC efetiva (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) do solo quatro semanas após a aplicação ou não de calcário superficial.

Fonte: AMARAL, A. S. 2004

### 3.4 Aplicação de insumos em taxa variada

Um dos princípios da Agricultura de Precisão é a aplicação de insumos em taxa variável, com objetivos de economia de insumos, aumento de produtividade, melhoria na distribuição dos insumos e mitigação do impacto ambiental (Colaço; Rosa; Molin, 2014).

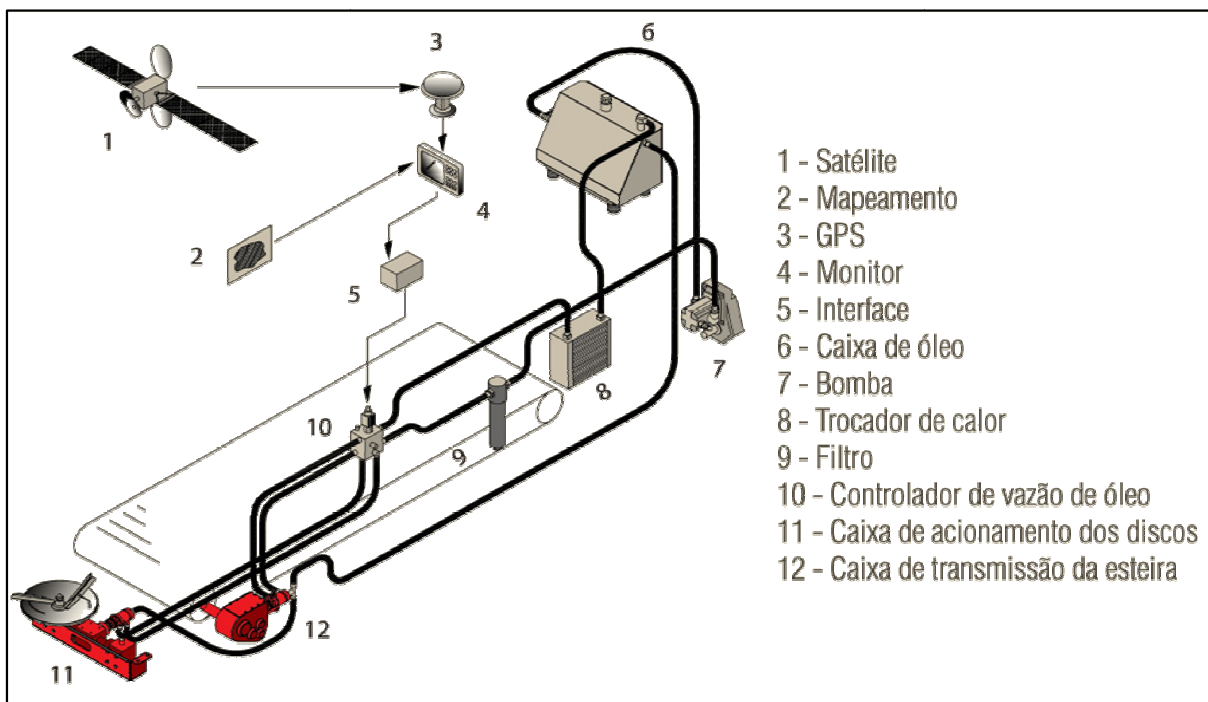
Aplicações de insumos em taxas variáveis requerem o uso de equipamentos calibrados para desempenhar com eficiência a aplicação dos insumos nas doses predefinidas nos mapas de recomendação. A aplicação incorreta de insumos poderá causar o excesso de insumos causando prejuízos econômicos além de trazer riscos de contaminação ambiental e a escassez de insumos não corrigirá a deficiência por consequência poderá ocorrer a limitação de rendimento. (Amado; Santi, 2007)

Segundo Mialhe (1996) os principais mecanismos dos distribuidores a lanço são os mecanismos dosadores volumétricos, ou seja, são responsáveis por dosar e distribuir os produtos na quantidade definida. Equipamentos utilizados em larga escala, sejam eles de arrasto ou autopropelidos, são compostos por uma esteira

transportadora, comporta limitadora, discos distribuidores e atuadores que interagem com os componentes.

O amadurecimento dos sistemas hidráulicos e o surgimento de novos sensores tornou possível a execução de aplicações de produtos em taxa variada baseados em mapas de prescrição ou até mesmo em taxa fixa. Os equipamentos de taxa variada (Figura 5) são compostos de um receptor GNSS, controlador, controladores de vazão e demais sensores (Colaço; Rosa; Molin, 2014).

As aplicações em taxa variada são baseadas em mapas de recomendação, elaborados com auxílio de softwares, gerando arquivos, geralmente no formato SHP que contém os dados de posicionamento (latitude e longitude) bem como a dose do produto a ser aplicado. (AMADO & SANTI, 2007)

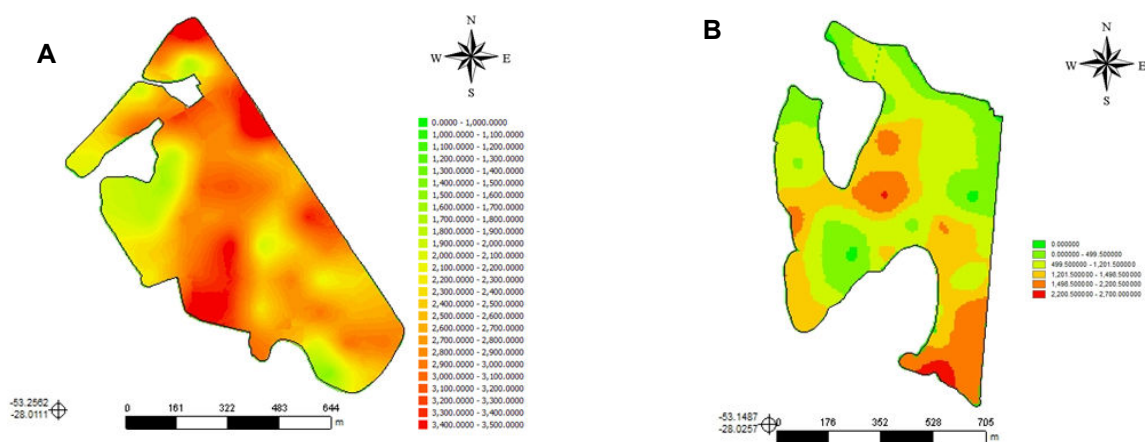


**Figura 5** – Detalhamento de um sistema de Taxa Variável  
**Fonte:** Jumil (2014)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução do trabalho se deu em duas áreas distintas localizadas próximas uma da outra, realizadas no mesmo período com a utilização do mesmo equipamento, um distribuidor centrifugo de disco duplo com mecanismo dosador volumétrico modelo Stara Hércules 24.000H equipado com controlador Topper 4500 para executar a aplicação com base em mapas previamente gerados para ambas as áreas.

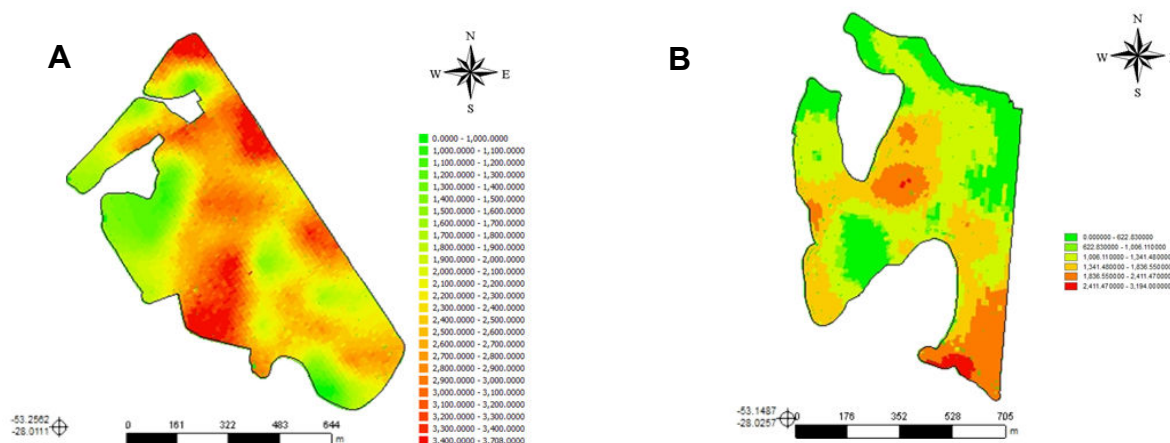
Os mapas de recomendação foram gerados em diferentes softwares, ambos gerados no formato SHP (Shapefile). O mapa de recomendação correspondente a Área 01, conforme a Figura 6 (A), elaborado com um pixel de 3,43 x 3,55 metros, com a variação da dose de calcário de 9 a 18 kg ha<sup>-1</sup>. O cálculo para variação da dose de calcário foi baseado na equação de uma linha de tendência polinomial correlacionando o Índice SMP com a dose de calcário em toneladas ha<sup>-1</sup>. Esta combinação de fatores resulta em um mapa de recomendação com uma grande quantidade de informações (pixel). O mapa de recomendação correspondente a Área 02, conforme Figura 6 (B), elaborado com um pixel de 6,10 x 5,91 metros com uma variação da dose de calcário de 500 a 700 kg ha<sup>-1</sup>. O cálculo para variação da dose foi baseado nos valores estimados de calcário para cada classe do Índice SMP.



**Figura 6** - Mapa de recomendação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 kg ha<sup>-1</sup> (A); Mapa de recomendação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 kg ha<sup>-1</sup> (B).

Os mapas acima serviram de base para a aplicação de calcário dolomítico, com uma distância de 15 metros entre uma passada e outra, distância determinada como ideal com base no perfil de distribuição transversal avaliado naquele momento para as características do produto.

A aplicação foi realizada em condições adequadas, observando-se as condições de umidade do solo bem como a velocidade do vento, que não ultrapassou a 2 m/s, ou seja, 7,2 km/h (MIALHE, 1996). Estão representados na Figura 7 os mapas de aplicação. A Figura 7 (A) mostra o mapa de aplicação de calcário com base no mapa de recomendação elaborado com um pixel de 3,43 x 3,55 metros, com a variação da dose de calcário de 9 a 18 kg ha<sup>-1</sup> e a Figura 7 (B) mostra o mapa de aplicação com base no mapa recomendação elaborado com um pixel de 6,10 x 5,91 metros com uma variação da dose de calcário de 500 a 700 kg ha<sup>-1</sup>.

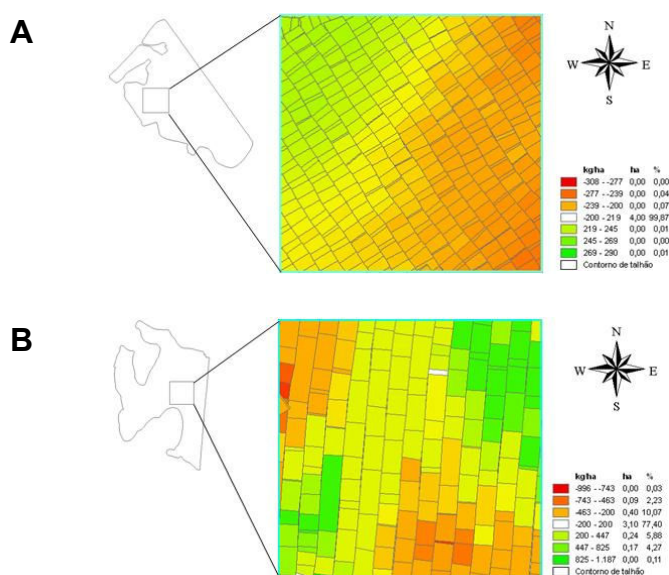


**Figura 7** - Mapa de aplicação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 kg/ha<sup>-1</sup> (A); Mapa de aplicação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 kg/ha<sup>-1</sup> (B).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Numa análise visual é perceptível visualizar que o mapa de aplicação com maior variação na dose de calcário, figura 7 (A) está idêntico ao mapa de recomendação (Figura 6 A), indicando que a aplicação foi executada de acordo com o planejado. Já no mapa com menor variação de calcário, Figura 7 (B) é perceptível os arrastes de doses, indicando que a aplicação não foi plenamente executada de acordo com o planejado.

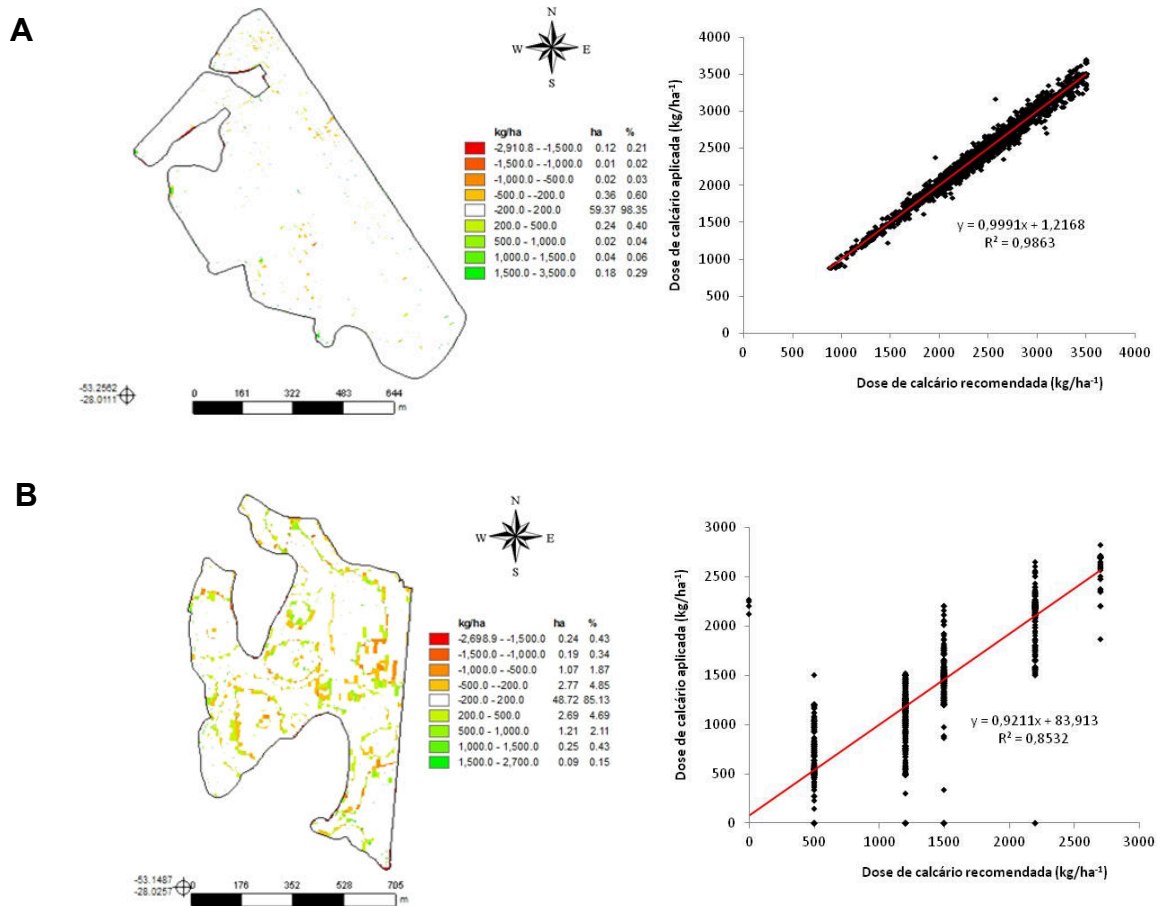
Na Figura 8 (A) percebe-se que o equipamento de distribuição realiza uma quantidade maior de registros, isso significa um número maior de trocas de doses, gerando registros de pós aplicação que vão desde 15 x 0,7 metros (largura x comprimento) até no máximo 15 x 10 metros, ou seja, enquanto que o mapa de aplicação sugere uma alteração de doses a cada 3,55 metros, o equipamento registra variações que vão desde 0,7 metros a até 10 metros, enquanto que na Figura 8 (B) realiza uma quantidade menor de registros, isso significa um número menor de troca de doses, tendo pixels que vão desde 15 x 1,0 metros até 15 x 58 metros, ou seja, enquanto que o mapa de aplicação sugere uma alteração de dose a cada 5,91 metros, o equipamento registra variações que vão desde 1,0 metro até 58 metros.



**Figura 8** - Mapa de aplicação baseado no mapa de recomendação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 kg/ha<sup>-1</sup> (A); Mapa de aplicação baseado no mapa de recomendação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 kg/ha<sup>-1</sup> (B).



Na segunda situação, Figura 8 (B) ocorre uma invasão da maior dose de calcário aplicado na região onde é recomendada uma menor dose de calcário e vice-versa, ocorre uma invasão da menor dose de calcário aplicado na região onde é recomendada uma dose maior de calcário.



**Figura 9** - Resultado da subtração do mapa de recomendação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 kg/ha<sup>-1</sup> pelo mapa de aplicação (A); Resultado da subtração do mapa de recomendação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 kg/ha<sup>-1</sup> pelo mapa de aplicação (B).

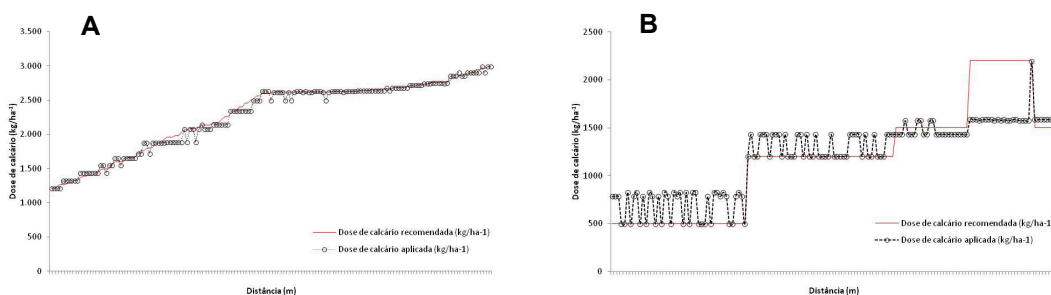
Considerando que na subtração dos mapas atribuiu-se uma tolerância de -200 kg ha<sup>-1</sup> de calcário e + 200 kg ha<sup>-1</sup>, chega-se a um acerto de 98,35% na dose de calcário aplicada em relação a dose de calcário recomendada, conforme ilustra a Figura 9 (A) e um acerto de 85,13% na dose de calcário aplicada em relação a dose de calcário recomendada, conforme ilustra a Figura 9 (B).



As variações entre as doses recomendadas e aplicadas estão associadas principalmente ao tempo de reposta da máquina ao sinal de troca da dose emitido pelo controlador.

Com uma média de 10,56 km/h, uma variação entre doses pequena e um tamanho de pixel pequeno fez com que a doses do produto ficassem mais próxima do recomendado, exigindo do controlador uma constância maior no envio de informações para o sistema e conseqüentemente uma maior variação do sistema, porém variações são pequenas. Na Figura 10 (A) a dose recomendada é crescente e é perceptível o ajuste da dose aplicada ao longo da aplicação e ao passo em que a dose recomendada é estabilizada, a dose aplicada se mantém mais estável.

Considerando que a velocidade de aplicação foi de 11,28 km/h, uma variação entre doses maior e um tamanho de pixel um pouco maior que a condição anterior levou a dose do produto aplicado se distanciar da dose recomendada, nesta situação a emissão e envio de informações ao sistema é menor, há uma exigência menor do controlador, porém ao executar as trocas de doses que são maiores, fez com que a estabilidade da dose desejada demore a acontecer, conforme a Figura 10 (B).

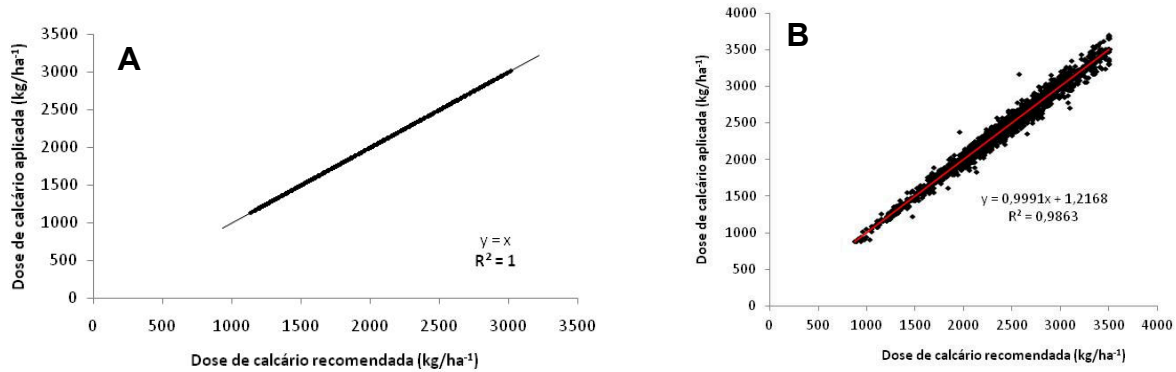


**Figura 10** – Tempo de resposta e de transição de doses para o mapa de recomendação de calcário com pixel de 3,43 x 3,55 metros, com variação de dose de 9 a 18 kg ha<sup>-1</sup> (A). Tempo de resposta e de transição de doses para o mapa de recomendação com pixel de 5,90 x 6,09 metros, com variação de dose de 500 a 700 kg ha<sup>-1</sup> (B).

O objetivo de qualquer aplicação é chegar o mais próximo possível da dose recomendada independente da recomendação. Na Figura 10 (A) ocorre uma maior estabilidade da dose, mesmo ocorrendo algum erro, ele não é significativo. Na Figura 10 (B) ocorreu uma menor estabilidade da dose, provocando um erro de dose considerável.

Quando avaliada da distribuição de calcário baseada no mapa de recomendação com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a

18 kg ha<sup>-1</sup> a relação existente entre dose de calcário recomendada (kg ha<sup>-1</sup>) e a dose de calcário aplicada (kg ha<sup>-1</sup>) encontrada foi de ( $R^2=0,9863$ ), conforme a Figura 11 (B). Fulton (2006) observou em um trabalho similar que a correlação entre a dose recomendada e a dose aplicada encontrada foi de ( $R^2=0,75$ ) para um distribuidor de

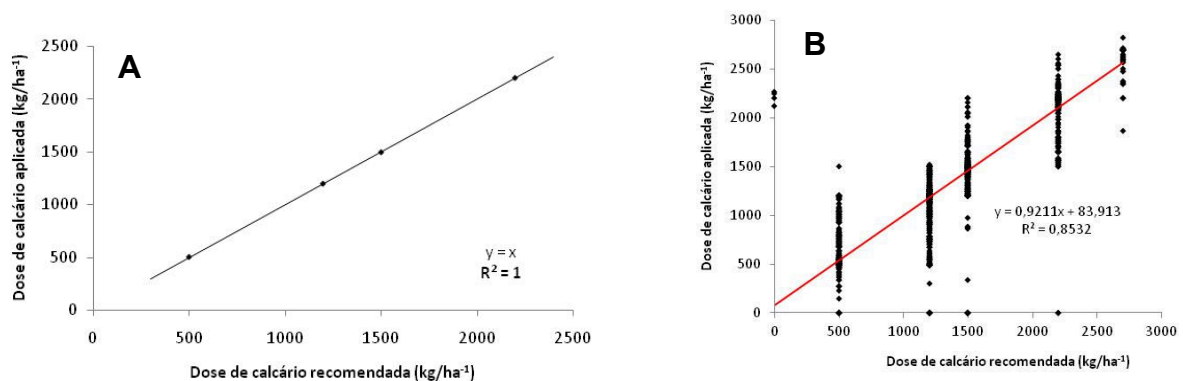


duplo disco e ( $R^2=0,81$ ) para um

distribuidor pneumático.

**Figura 11** – Relação entre a dose de calcário recomendada (kg ha<sup>-1</sup>) e a dose de calcário aplicada (kg ha<sup>-1</sup>) com pixel de 3,43 x 3,55 metros, variação da dose de calcário de 9 a 18 kg ha<sup>-1</sup>. Condição ideal (A) comparada a condição real (B)

Quando avaliada da distribuição de calcário baseada no mapa de aplicação com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 kg ha<sup>-1</sup> a relação existente entre dose de calcário recomendada (kg ha<sup>-1</sup>) e a dose de calcário aplicada (kg ha<sup>-1</sup>) encontrada foi de ( $R^2=0,8532$ ), conforme a Figura 6 (B).



**Figura 12** – Relação entre a dose de calcário recomendada (kg/ha<sup>-1</sup>) e a dose de calcário aplicada (kg/ha<sup>-1</sup>) com pixel de 6,10 x 5,91 metros, variação da dose de calcário de 500 a 700 kg/ha<sup>-1</sup>. Condição ideal (A) comparada a condição real (B)

Portanto, do ponto de vista operacional no que diz respeito ao ganho na qualidade da aplicação, o maior investimento está na elaboração dos mapas de fertilidade, uma vez que os arquivos de recomendação com maior quantidade de

informações não interferem na execução da aplicação, principalmente no que diz respeito a lentidão dos controladores ou problemas relacionados ao sistema hidráulico do equipamento.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Aplicações de corretivos ou fertilizantes são tratadas como operações de baixa importância, uma vez que não existe nenhuma exigência por parte dos tomadores de serviço quanto à qualidade deste serviço.

São várias as etapas a serem seguidas para alcançar uma aplicação com qualidade, desde a correta regulação dos equipamentos, a utilização de produtos com condições físicas adequadas e a geração de arquivos de recomendação que proporcionem aos sistemas executar uma aplicação conforme a necessidade.

Com o crescimento de prestadores de serviços especializados em Agricultura de Precisão e a busca por clientes, é imprescindível a busca pela diferenciação, ou seja, não basta dizer que o serviço de aplicação oferece qualidade, é necessário comprovar ao cliente que ele efetivamente foi executado com qualidade e de acordo com a sua solicitação.

## REFERÊNCIAS

AMADO, T.J.C., SANTI, A.L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo**. In: FIORIN, J.E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007.

CAIRES, E. F. **Correção da Acides do solo em sistema plantio direto**. IPNI – International Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas, nº 141, Março 2013

COLAÇO, A.F.; ROSA, H. J. A.; MOLIN, J. P. **A model to analyse as-applied reports from variable rate operations**. Precision Agriculture. v.15, n. 3, 2014.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, terceiro levantamento – safra 2015/16**. Brasília: Conab, 2015. Disponível em:

[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_12\\_11\\_11\\_02\\_58\\_boletim\\_graos\\_dezembro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_11_11_02_58_boletim_graos_dezembro_2015.pdf). Acesso em: 28 de dezembro de 2015.

FULTON, J. P. **Performance assessment of variable rate fertilizer technology**. Auburn University, 2006. Disponível em:

[https://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/frames/SSMCnewsletter4\\_2006.pdf](https://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/frames/SSMCnewsletter4_2006.pdf). Acesso em: 29 de novembro de 2015.

LUZ, P.H.C., OTTO, R. **Otimização na aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes**. In: PROCHNOW, L. I.; CSARIN, V.; STIPP, S. R. Simpósio sobre boas práticas para uso eficiente de fertilizantes (2009: Piracicaba, SP) Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte; v.1 anais. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: Ensaio e certificação**. Piracicaba, São Paulo. Fundação de Estudos Agrários. 1996.

MOLIN, J. P. **Aplicação a lanço – Adubo no lugar certo**. Revista Cultivar Máquinas, julho/agosto 2002.

MOLIN, J. P. Revisão Bibliográfica. **Agricultura de precisão. Parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento**. Disponível em:

[http://www.leb.esalq.usp.br/molin/agriprecisao\\_parte1.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/molin/agriprecisao_parte1.pdf). Acessado em 22 de agosto de 2015.

Tomé Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997.