

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA

**IMPLANTAÇÃO DO CICLO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM UMA  
ÁREA EXPERIMENTAL DA FAZENDA TARUMÃ, CAMPO ERÊ - SC**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO  
2016

DOUGLAS RIGON

**IMPLANTAÇÃO DO CICLO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM UMA  
ÁREA EXPERIMENTAL DA FAZENDA TARUMÃ, CAMPO ERÊ - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof.ºDr. Adão Robson Elias

PATO BRANCO  
2016

**Rigon, Douglas**  
**Implantação do ciclo da agricultura de precisão em uma área experimental da fazenda Tarumã, Campo Erê- SC/ Douglas Rigon.**  
**Pato Branco. UTFPR, 2016**  
**63 f. : il. ; 30 cm**

**Orientador: Prof. Dr. Adão Robson Elias**  
**Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2016.**

**Bibliografia: f. 59– 61**

**1. Agronomia. 2. Uso da terra. I. Elias, Adão Robson. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. IV. Título.**

**CDD: 630**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Pato Branco  
Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias  
**Curso de Agronomia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso - TCC**

# **IMPLANTAÇÃO DO CICLO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM UMA ÁREA EXPERIMENTAL DA FAZENDA TARUMÃ, CAMPO ERÊ - SC**

**Por**

**DOUGLAS RIGON**

Monografia apresentada às 10 horas 30 min. do dia 28 de novembro de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO, Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo-assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

**Prof. Msc. Vicente Lucio Michaliszyn**  
UTFPR

**Prof. Msc. Henrique dos Santos Felipetto**  
UTFPR

**Orientador: Prof. Dr. Adão Robson Elias**  
UTFPR

A "Ata de Defesa" e o decorrente "Termo de Aprovação" encontram-se assinados e devidamente depositados na Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR Câmpus Pato Branco-PR, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

Dedico este trabalho aos homens que cultivam o alimento da terra.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o princípio e o fim de todas as coisas.

Os meus queridos pais Vicente Izair Dalcin Rigon e Erlani Regina Bandeira Rigon meus exemplos de vida, palavras não descreviam a gratidão que tenho por vocês.

A minha querida namorada Larissa Soares, sempre amável e compreensiva, sobretudo nestes dias em que estive ausente devido à dedicação aos estudos.

Aos professores do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *Campus* Pato Branco, pelo profissionalismo e competência no exercício do ensino.

Ao Orientador Professor Dr. Adão Robson Elias, por sua gentileza e profissionalismo em todo este tempo de orientação.

Aos colegas do Curso de Agronomia, pelos momentos preciosos que juntos passamos.

Devemos somar forças para gerar uma sociedade sustentável global baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos universais, na justiça e na paz. Para chegar a este propósito, é imperativo que, nós os povos da Terra, declaremos nossa responsabilidade uns com os outros, com a grande, comunidade da vida e com as futuras gerações.

(Preâmbulo da Carta da Terra)

## RESUMO

RIGON, Douglas. Implantação do ciclo da agricultura de precisão em uma área experimental da fazenda Tarumã, Campo Erê– SC. Fls.63. Monografia (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O objetivo deste trabalho é implantar a agricultura de precisão numa área de 2.7 ha, da fazenda Tarumã, Campo Erê-SC, e buscar o maior rendimento e homogeneidade de produção cabível dentro dos fatores presentes em cada safra. Os caracteres agronômicos a serem avaliados serão: alumínio; matéria orgânica, fósforo, potássio, manganês, cálcio, pH, índice SMP. Após tabulados os dados, estes foram submetidos à análise a partir de métodos geoestatísticos, os quais foram implementados utilizando os parâmetros do semivariograma. A análise geoestatística citada aqui deu origem aos mapas de isolinhas, referentes aos atributos do solo, que apresentaram dependência espacial. Com a elaboração do mapa de aplicação localizada de insumos foi possível otimizar os resultados, diminuindo custos e aumentando a produção em cerca de 47 % no total da área.

**Palavras-Chave:** Uso da terra. Agricultura de Precisão (AP). Produção.

## ABSTRACT

RIGON, Douglas. Implantation of the precision agriculture cycle in an experimental area of Tarumã farm, Campo Erê – SC.65 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2016.

The objective of this work is to implement precision agriculture in an area of 2.7 ha, from the Tarumã farm, Erê-SC Field, and to seek the highest yield and homogeneity of production that is appropriate within the factors present in each crop. The agronomic characteristics to be evaluated will be: aluminum; Organic matter, phosphorus, potassium, manganese, calcium, pH, SMP index. After the data were tabulated, they were submitted to statistical analysis - from geostatistical methods, which were implemented using the semivariogram parameters. The geostatistical analysis cited here gave rise to the maps of isolines, referring to soil attributes, which presented spatial dependence. With the elaboration of the map of localized application of inputs, it was possible to optimize the results, reducing costs and increasing production by around 47% in the total area.

**Keywords:** Land use. Precision Agriculture (AP).Production.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Fatores e causas que determinam a qualidade e a sustentabilidade do solo.....	21
Figura 2	- Ciclo da agricultura de precisão.....	22
Figura 3	Área experimental.....	26
Figura 4	- Mapa - Teor de Alumínio.....	36
Figura 5	- Mapa teor de magnésio.....	39
Figura 6	- Mapa teor de cálcio no solo.....	42
Figura 7	- Mapa Índice de pH.....	45
Figura 8	- Mapa SMP.....	48
Figura 9	- Mapa de potássio.....	51
Figura 10	- Mapa de aplicação de Cloreto de potássio.....	53
Figura 11	Mapa de aplicação de calcário.....	55
Figura 12	- Mapa de produtividade safra 2014/2015.....	57
Figura 13	- Mapa de produtividade 2015/2016.....	59

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1	- Ajuste espacial alumínio.....	35
Gráfico 2	- Ajuste espacial do magnésio.....	38
Gráfico 3	- Ajuste espacial do cálcio no solo.....	41
Gráfico 4	- Ajuste espacial pH.....	44
Gráfico 5	- Ajuste espacial smp.....	47
Gráfico 6	- Ajuste espacial do potássio.....	50

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
3.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)–CARATERIZAÇÃO GERAL.....	16
3.1.1 Vantagens da agricultura de precisão.....	18
3.1.2 O Ciclo da Agricultura de Precisão.....	22
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO (SR).....	23
3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) e GPS OUNAVSTAR-GPS (NAVIGATION SATELLITE WITH TIME AND RANGING).....	23
3.4 GEOESTATÍSTICA.....	24
<b>4 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	26
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	26
4.2 IMPLANTAÇÃO E MANEJO.....	26
4.2.1 Cultivar utilizada em 2014/2015- ativa RR.....	27
4.2.2 Cultivar utilizada em 2015/ 2016 - NS 6909 IPRO.....	28
4.2.3 Maquinário.....	28
4.3 CARACTERES AGRONÔMICOS AVALIADOS.....	29
4.4 MÉTODOS PARA SE DETERMINAR A DOSE DE CORRETIVOS.....	30
4.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	33
<b>5 RESULTADOS</b> .....	34
5.1 MAPAS DE CARACTERES QUÍMICOS.....	34
5.1.1 Semivariograma e mapa do teor de alumínio solo.....	34

5.1.2	Semivariograma e mapa do teor de magnésio no solo.....	37
5.1.3	Semivariograma e mapa do teor cálcio no solo.....	40
5.1.4	Semivariograma e mapa do pH do solo.....	43
5.1.5	Semivariograma e mapa do Índice SMP do solo.....	46
5.1.6	Semivariograma e mapa do Potássio do solo.....	49
5.1.7	Mapas de aplicação localizada calcário e cloreto de potássio.....	52
5.1.7.1	Cloreto de Potássio.....	52
5.1.7.2	Calcário.....	54
5.2	<b>RESULTADOS DO EXPERIMENTO.....</b>	<b>56</b>
5.2.1	Mapa de Produtividade Safra 2014/2015.....	57
5.2.2	Mapa de produtividade safra 2015/2016 (após implementação da aplicação localizada de insumos).....	58
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os avanços técnicos/científicos na agricultura têm nos apresentado a necessidade de se mensurar a variação temporal e espacial dos atributos que interferem no rendimento das lavouras, com o objetivo de otimizar o rendimento e diminuir custos.

As rápidas e intensas transformações que a moderna agricultura vem recebendo nas últimas décadas tornaram uma atividade altamente competitiva. Com isto, o agronegócio exige dos produtores rurais um alto grau de especialização e de profissionalismo, visando aumentar a capacidade gerencial das empresas rurais (NUNES, 2016).

A necessidade da obtenção de maiores produtividades das culturas, conservando a sustentabilidade dos agroecossistemas tem incentivado uma busca gradativa do conhecimento das variáveis envolvidas nos sistemas de produção, onde determinar as causas da variabilidade dos atributos do solo é uma forma de tomada de decisão em relação às técnicas de manejo a se adotar (BARBIERI, 2007).

O cruzamento de dados espacialmente distribuídos da produção agrícola, bem como os de atributos do solo, constitui uma importante fonte de diagnóstico para a obtenção das informações, possibilitando melhor manejo da variabilidade espacial no campo.

Muitos trabalhos são desenvolvidos com o intuito de avaliar as relações espaciais existentes entre mapas de produtividade da lavoura e atributos químicos e físicos do solo. Sendo assim, Vieira (1998) enfatiza a importância de se analisar a variabilidade espacial das amostragens em campo por meio da geoestatística, pois é importante verificar sua dependência espacial por meio de semivariograma. Ainda segundo o mesmo autor, depois de verificada se há dependência espacial é possível estimar valores para locais não amostrados, com variância mínima e sem tendenciosidade, por meio de métodos como por exemplo, krigagem. Sendo assim, a geoestatística se mostra como uma importante ferramenta para pesquisas que envolvam estimativas a cerca da qualidade do solo e produtividade.

Considerando a maior necessidade de conhecimento para a implantação do ciclo da agricultura de precisão nas propriedades rurais, esta pesquisa teve como objetivo explorar a metodologia de Implantação da agricultura de precisão numa área de 2.7 ha, da fazenda Tarumã no município de, Campo Erê/SC, e buscar o maior rendimento e homogeneidade de produção cabível dentro dos fatores presentes em cada safra.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Implantar a agricultura de precisão numa área de 2.7 ha, da fazenda Tarumã, no município de Campo Erê/SC, e buscar o maior rendimento e homogeneidade de produção cabível dentro dos fatores presentes em cada safra.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar mapas de isolinhas dos caracteres de solo que apresentaram dependência espacial;
- Elaborar mapas de aplicação localizada de insumos;
- Elaborar o mapa de produtividade da área de estudo, safra 2015/2016;
- Obter maior rendimento e homogeneidade da cultura pré-estabelecida após aplicação localizada de insumos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)–CARATERIZAÇÃO GERAL

A agricultura de precisão (AP), como é designada e conhecida no Brasil, é o sistema de produção adotado por agricultores de países de tecnologia avançada, conceituada por eles de *PrecisionAgriculture*, *PrecisionFarming* ou *Site-SpecificCropManagement*, que surgiu como um sistema de gerenciamento de informações e que teve seu crescimento potencializado a partir de avanços da tecnologia de referenciamento e posicionamento, como o GPS (do Inglês *Global Positioning System*) e de tecnologias de sensoriamento remoto. Conceitos surgiram a partir do emprego destas técnicas na agricultura, como os de aplicação de insumos em taxas variáveis e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (NUNES, 2016).

O termo agricultura de precisão pode ser definido segundo Mantovani (2000 *apud* BAIO, 2005, p. 9) como sendo:

O uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas. Essa nova filosofia de se fazer agricultura tem levado ao uso de três tecnologias, que são o **SR (Sensoriamento Remoto)**, o **SIG (Sistemas de Informações Geográficas)** e o **GPS**.

Por sua vez Stanford (1996 *apud* BAIO, 2005, p. 9) define agricultura de precisão como sendo:

Um conjunto de técnicas que pressupõem o gerenciamento localizado da cultura. De uma forma ou de outra, a agricultura de precisão visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações dos insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todos os processos envolvidos na produção.

A agricultura de precisão tem várias formas de abordagem, mas a finalidade consiste em utilizar estratégias para resolver os problemas da desuniformidade das lavouras e se possível tirar proveito dessas desuniformidade. AP pode ser praticada em diferentes níveis de complexidade e com diferentes abordagens (MOLIN, 2016,).

Hoje em dia, a agricultura de precisão pode ser percebida como um sistema integrado totalmente dependente de sistemas eletrônicos, mecânicos e computacionais, destinados ao levantamento em campo e em condições dinâmicas de um número bastante elevado de dados. Conforme afirmou Searcy (1995, *apud* BAIIO, 2005), por sua vez, o uso extensivo deste grande número de dados requer,

A utilização de sistemas de aquisição e análise dos dados, sistemas computacionais de processamento e suporte à decisão e equipamentos automáticos destinados a realização de operações em campo. A utilização de um sistema de navegação, capaz de fornecer o posicionamento geográfico de uma pessoa e equipamentos no campo, é também indispensável para o sucesso da agricultura de precisão (BAIO, 2005, p. 8).

À agricultura de precisão envolve um complexo processo, cujo fundamento é o conhecimento espacial preciso da atividade agrícola, geralmente baseado no uso de dados obtidos com auxílio de satélites (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

A solução nos dias atuais empregadas para focar grandes áreas e entendê-las como homogêneas, levando ao conceito da necessidade média para a aplicação dos insumos (fertilizantes, defensivos, água, entre outros), faz com que, por exemplo, a mesma formulação e/ou quantidade do fertilizante seja utilizada para toda a área, atendendo apenas as necessidades médias e não considerando, desta forma, as necessidades específicas de cada parte do campo. O mesmo acontece para os demais insumos, causando como resultado uma lavoura com produtividade não uniforme. A agricultura de precisão prevê a reversão deste quadro, permitindo a aplicação de insumos agrícolas nos locais corretos e nas quantidades requeridas (NUNES, 2016).

Para o alcance de uma produtividade econômica é imprescindível à aplicação de adubos e corretivos, além de outras práticas de manejo, trazendo alterações químicas e físicas à camada superficial do solo, na mesma proporção que

ocorre a mecanização do sistema, o que favorece a eutrofização<sup>1</sup>. A mecanização causa um aumento da densidade do solo, redução da macroporosidade e degradação de sua estrutura. Há um consenso de que o aumento da densidade do solo agrícola é devido à agricultura mecanizada (SOUZA, 2016).

### 3.1.1 Vantagens da agricultura de precisão

Agricultura de precisão apresenta-se como uma revolução tecnológica, podendo transformar o modo de pensar e de administrar as propriedades rurais. Essa mudança sobrevém em virtude de ser uma técnica que abarca a coleta de informações precisas e o processamento dessas em todas as etapas de produção, auxiliando no gerenciamento e na tomada de decisão exata. Proporcionando ao agricultor uma nova forma de visualizar sua propriedade, deixando de lado a visualização dela como um todo e levando à visão de várias, englobadas em uma (FRANCETTO, 2010).

Por sua vez, os objetivos principais da agricultura de precisão são a diminuição dos custos da produção, o aumento da lucratividade e produtividade, e a diminuição do impacto ambiental que a agricultura deflagra. Estes benefícios advêm da possibilidade de se fazer a aplicação localizada (ou variável) de insumos. A finalidade da aplicação localizada é

Colocar sementes, fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas e outros insumos de forma variável em cada campo, nas razões mais adequadas para a produtividade do solo em cada ponto do mesmo e, portanto, reduzir os custos por unidade de produto produzida (BALASTREIRE, 2000, s/p).

Para John Shueller, professor da Universidade da Flórida, que esteve no II Simpósio sobre Agricultura de Precisão da ESALQ/USP, em outubro do ano de 1999, além do controle tático, representado pelas aplicações variáveis de insumos, a AP também permite o controle estratégico da fazenda, como a decisão de drenar alguma área, modificar fronteiras do campo ou abandonar áreas precárias. Por fim, um gerenciamento localizado de toda a área. Além disso, a utilização dos conceitos

---

<sup>1</sup>Processo através do qual um corpo de água adquire níveis altos de nutrientes, esp. fosfatos e nitratos, provocando o posterior acúmulo de matéria orgânica em decomposição; eutroficação.

da AP leva a formação de um rico banco de dados sobre a fazenda, com informações que certamente vão agregar valor à propriedade (BALASTREIRE, 2000).

Agricultura de precisão combina as novas tecnologias sustentando a era da informação com uma agricultura industrial madura. É um sistema de manejo de produção integrado, que busca igualar o tipo e a quantia de insumos que entram na propriedade com as necessidades da cultura em pequenas áreas dentro de um campo da propriedade. Esta meta não é nova, mas novas tecnologias agora disponíveis permitem o conceito de agricultura de precisão ser percebido em uma produção prática (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Nos últimos tempos, pesquisas relacionadas à agricultura de precisão têm reconhecido a forte influência da posição da paisagem na produção de culturas. Neste sistema, existe uma forte dependência do conhecimento das relações dos atributos do solo na paisagem, já que os mapas de produção econômica são gerados com base na variabilidade do solo (BARBIERI, 2007).

Numa paisagem natural, o solo apresenta ampla variabilidade dos seus atributos tanto no sentido espacial como no volumétrico, resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação. Além disso, o solo cultivado demonstra fontes adicionais de heterogeneidade, originadas exclusivamente do efeito antrópico da agricultura (BARBIERI, 2007).

A agricultura de precisão tende a se tornar cada vez mais comum nas propriedades rurais. Atualmente, as tecnologias permitem que se tenha um grande conhecimento das variabilidades encontradas entre as diferentes áreas da propriedade, o que já proporciona a tomada de decisões com base em dados mais precisos (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Entender os processos responsáveis pelos impactos ocasionados com as alterações nos tipos de usos da terra, em termos de alterações nas propriedades,....

Físicas, químicas e biológicas do solo, é essencial para a obtenção de sistemas de produção sustentáveis, sob aspectos técnicos, econômicos e socioambientais, visando o desenvolvimento agropecuário. Para tanto, se faz necessário indicadores de qualidade de solo sensíveis as mudanças de uso da terra, que possam expressar os impactos causados e com isso aprimorar os sistemas produtivos e as práticas de manejo adotados na região (OLIVEIRA, 2009, p. 15).

As vantagens da agricultura de precisão conforme Nunes (2016) consistem em possibilitar um melhor conhecimento do campo de produção, permitindo, desta forma a tomada de decisões melhor embasadas, como:

- Ter-se uma maior capacidade e flexibilidade para a distribuição dos insumos naqueles locais e no tempo em que são mais necessários, minimizando os custos de produção;
- Uniformidade na produtividade é alcançada pela correção dos fatores que contribuem para sua variabilidade obtendo-se, com isto, um aumento global da produtividade;
- Aplicação localizada dos insumos necessários para sustentar uma alta produtividade contribui com a preservação do meio ambiente, já que estes insumos são aplicados somente nos locais, quantidades e no tempo necessário.

Some-se a isto tudo, segundo Nunes (2016) que a agricultura de precisão propicia grandes benefícios para os seus usuários, tais como:

- Redução do grave problema do risco da atividade agrícola;
- Redução dos custos da produção;
- Tomada de decisão rápida e certa;
- Melhoria do meio ambiente pelo menor uso de defensivo.

As perspectivas para agricultura familiar são positivas, com possibilidade de aumento da precisão na obtenção de resultados, conforme se forem tornando mais bem entendidos e mapeados os fatores que contribuem para a variabilidade nas áreas agrícolas (NUNES, 2016). Conforme Lal (1999 *apud* OLIVEIRA, 2009) a distinção entre causas e fatores, propriedades, processos que afetam a qualidade do solo e a sustentabilidade. Os primeiros são dirigidos por forças sociais que incluem pressão demográfica, disputa por terra, e aspirações e necessidades culturais conforme Figura 1.

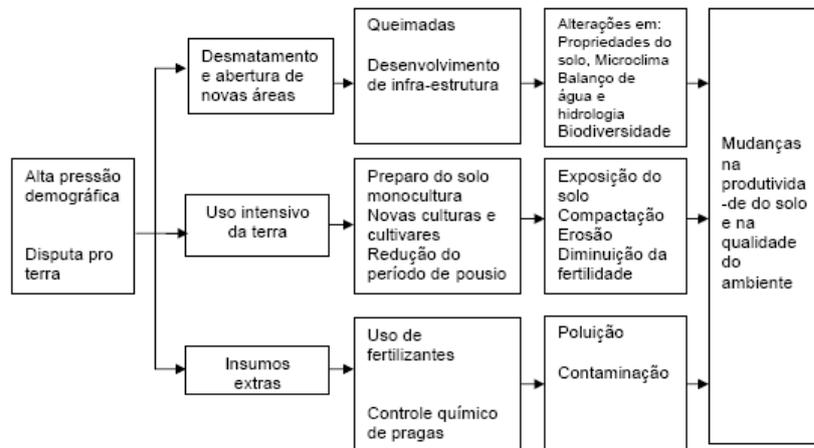


Figura 1 – fatores e causas que determinam a qualidade e a sustentabilidade do solo

Fonte: Lal (1999 *apud* OLIVEIRA, 2008, p. 18).

Daí que essas forças levam a uma gama de atividades que se refletem em importantes alterações no solo e no ambiente, como o desmatamento, o uso intensivo de terras, de maneira especial com monocultivos, e o uso de agroquímicos para regular a fertilidade do solo e minimizar a competição das plantas com pragas e doenças (OLIVEIRA, 2009).

Em várias operações agrícolas durante o cultivo da cultura são necessárias,

Diversas aplicações, operações ou atividades que exigem algum tipo de orientação, principalmente no plantio mecanizado, onde não há nenhuma referência e uma orientação incorreta de marcação de solo pode interferir no espaçamento incorreto da cultura durante todos os anos daquele talhão (ANTUNIASI; BAIO; SHARP, 2007, p. 3).

Durante a colheita é possível utilizar sensores e equipamentos instalados na máquina agrícola que posteriormente serão capazes de gerar mapas de produtividade que podem ser correlacionados com fatores como infestação de pragas, compactação do solo e tipos de manejo a serem empregados.

### 3.1.2 O Ciclo da Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão apresenta-se em forma de um ciclo, em virtude da ocorrência de uma série de acontecimentos que se sucedem em uma ordem determinada, sendo possível separá-la em quatro fases, i, coleta de dados; ii. Processamento; iii. aplicação; iv. Interpretação, conforme Figura 2.

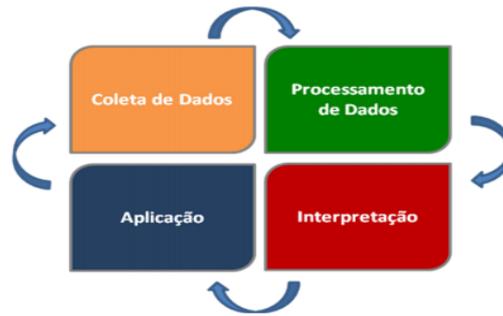


Figura 2 – Ciclo da agricultura de precisão.

Fonte: Francetto (2010)

Os dados gerados na fase de coleta necessitam sofrer um tratamento, de forma que as decisões futuras possam ser tomadas de forma exata, sendo processados através do emprego de programas computacionais (SIG) e o sistema de informação geográfica ou simplesmente Geographic Information Systems (GIS). Resumidamente nesta etapa ocorre a transformação dos dados em informações de forma localizada. Contudo, por mais automatizado que o processo seja, torna-se necessário à interpretação dos dados por engenheiros, agrônomos e especialistas. Portanto, uma intervenção na área somente é possível após uma avaliação criteriosa das informações em mãos, pois estas possibilitam uma melhor tomada de decisão, de forma rápida e precisa (FRANCETTO, 2010).

A partir do momento em que as informações foram analisadas e as decisões foram tomadas tem-se a fase de interpretação desenvolvida nas etapas de plantio, adubação, pulverização, cultivo e colheita com a utilização de máquinas agrícolas.

### 3.2 SENSORIAMENTO REMOTO (SR)

Entende-se por sensoriamento remoto (SR) toda coleta de dados sobre um objeto ou fenômeno sem que ocorra contato físico entre o mesmo e o coletor. Estes dados por sua vez são em última análise radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida pelo objeto em estudo (NUNES, 2016). Cabe aos sistemas sensores, instrumentos principais do sensoriamento remoto, a captação desta radiação e conversão para uma forma que possibilite análises e interpretações. Estas

Informações são utilizadas para o planejamento de grandes áreas pois permitem uma visão sinóptica da área (NUNES, 2016).

Quando o sistema sensor transforma a REM recebida em uma imagem denominam-se sistemas imageadores, caso contrário estes são denominados não-imageadores. Com relação à fonte de REM classificamos os sensores em ativos, que possuem sua própria fonte de REM, e passivos que necessitam de uma fonte externa para operar, normalmente o sol (NUNES, 2016).

Ao produto final dos sistemas sensores atribuímos características básicas que definem a capacidade de distinguir respostas (em forma de REM) do objeto em estudo, em outras palavras a resolução, ou poder de resolução quando se trata do sensor (NUNES, 2016).

### 3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) e GPS OUNAVSTAR-GPS (*NAVIGATION SATELLITE WITH TIME AND RANGING*)

Os dados utilizados em agricultura de precisão apresentam, além da informação em si, as coordenadas geográficas que permitem identificar o local onde o dado foi coletado (TREVISAN; MOLIN, 2014). Assim sendo, a visualização desses dados exige o uso de programas apropriados, conhecidos como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que englobam, além da visualização das informações, a organização, armazenamento e processamento dos dados. São chamados sistemas porque são compostos por hardware, software, informações e pessoas que atuam em conjunto na manipulação de dados georreferenciados (TREVISAN; MOLIN, 2016).

O GPS ou Navstar-GPS (*NAVigationSatellitewith Time AndRanging*) caracteriza-se por ser,

Um sistema de rádio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD - DepartmentOfDefense), sendo o principal sistema de navegação das forças armadas americana. Em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do grande desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu dos mais variados segmentos da sociedade civil (navegação, transporte rodoviário e ferroviário, posicionamento geodésico e topográfico, como também na agricultura) (BAIO, 2005, p. 21).

Segundo Elias (2003), na literatura não é usual encontrar discussões sobre sistemas de referência adotados nos trabalhos de agricultura de precisão

envolvendo posicionamentos por GPS, mas é de fundamental importância que a definição e a realização dos sistemas de referência sejam apropriadas, precisas e consistentes.

### 3.4 GEOESTATÍSTICA

O semivariograma constitui-se no gráfico das semivariâncias das diferenças dos valores experimentais situados a intervalos regulares. Em condições estacionárias, o valor médio esperado é constante ou zero, o que reduz o semivariograma à média quadrática das diferenças dos valores experimentais (Clark, 1979).

Esta expressão do semivariograma é válida somente para situações de estacionaridade ou quase-estacionaridade, pois se o valor médio esperado sofrer mudanças graduais no espaço de tal forma a caracterizar uma tendência (drift), outros recursos de avaliação estrutural deverão ser aplicados.

Na realidade, as propriedades naturais da superfície terrestre são espacialmente contínuas, sendo restritivo descrevê-las através de simples funções matemáticas que não respondem as questões acima formuladas. Modelos inferenciais para este objetivo vêm sendo propostos. A krigagem é um desses modelos, e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1971).

O termo krigagem é derivado do nome de Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (Delfiner e Delhomme, 1975). O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

Conhecido o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de

estudo, sem tendência e com variância mínima (Vieira, 2000). O método de interpolação chama-se krigagem e tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir destes dados o que permite visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de isolinhas ou de superfície.

## 4 MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

O estudo foi realizado em uma área agrícola comercial, localizada no município de Campo Erê- SC. O município está localizado na Região oeste do Estado de SC, divisa com o Estado do PR, com uma área territorial de 478,734 km<sup>2</sup>. Possuindo um clima Subtropical, cfa. Situado a 929 metros de altitude. Possui às coordenadas geográficas de Latitude: 26° 23' 42" Sul e Longitude: 53° 5' 33" Oeste (MUNICÍPIOCAMPO ERÊ-SC, 2016).

A área experimental é pertencente à Fazenda Tarumã, no município de Campo Erê - SC, com a área de 2,7 há.



Figura 3 - área experimental

### 4.2 IMPLANTAÇÃO E MANEJO

Antes da implantação da Agricultura de Precisão foi realizada a colheita numa área de 2,7há de soja (*Glycine Max*), safra 2014/2015, sendo que esta colheita seria considerada como testemunha. Nesse local foram coletados os seguintes dados: produção total de 56,8 SC/há.

O sistema de rotação adotado na fazenda obedeceu a uma sequência de culturas (Tabela 1) e as coletas de análises de solo foram realizadas anteriormente à adubação da cultura de verão, que vai ser destinada para grãos. No caso de utilização da cultura de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) no inverno para cobertura.

As coletas de amostras de solo na área pesquisada iniciaram-se no ano de 2015, com o estabelecimento da malha amostral composta a cada 25 m. Tendo sido adotada a profundidade de amostragem de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. O sistema de amostragem adotado composto de um tubo cilindro com diâmetro de 50 mm, sendo que a cada ponto de amostragem foram coletada apenas 1 amostra simples.

Para coleta de solo foi utilizado um GPS para fazer as coletas de coordenadas nos pontos georreferenciados, sacos plásticos para armazenar as amostras até a destinação ao laboratório de análise de solo da UTFPR campus Pato Branco – PR.

A Tabela 1 mostra a sequência das culturas utilizadas no experimento, anteriores e após a implantação do experimento.

Tabela 1 - Sequência de culturas (inverno – verão) nas áreas em estudo.

	Talhão Baixado			
*Ano	2013	2014	2015	2016
**Cultura	Azevém	Azevém	Azevém	Azevém
***cultura	Soja	Soja	Soja	Soja

\*Ano (o ano agrícola compreende uma cultura de inverno e outra de verão)

\*\*cultura (refere-se à cultura implantada no período de inverno)

\*\*\*cultura (refere-se à cultura implantada no período de verão)

#### 4.2.1 Cultivar utilizada em 2014/2015- ativa RR

A cultivar utilizada neste experimento foi da empresa do Grupo Don Mario, BMX Ativa RR. Cultivar de porte baixo, ciclo superprecoce, seu grupo de maturação é de 5.6, tem hábito de crescimento determinado, o peso de mil sementes é de 174g (dados variáveis segundo o ambiente explorado pelo cultivar), a cor da sua flor é roxa, da Pubescência é cinza e do Hilo é preto imperfeito.

As características agrônômicas dessa cultivar é a resistência ao acamamento, tem uma alta exigência a fertilidade, assim ideal para ambientes de

alta tecnologia, elevado potencial produtivo e é uma cultivar diferenciada pela baixa ramificação e necessita de uma densidade maior no stand final de plantas.

Esta cultivar se adapta bem nas regiões do planalto, campos de cima da serra do Rio Grande do sul, sudoeste de Santa Catarina e sul do Paraná.

É uma cultivar resistente ao Cancro da Haste, moderadamente resistente a Mancha Olho de Rã, suscetível a Pústula Bacteriana e a Phialophora com possibilidade de escape desta doença e resistente às raças 1,3 e 4 da Podridão radicular de Phytophthora resistente às raças 1, 3 e 4.

#### **4.2.2 Cultivar utilizada em 2015/ 2016 - NS 6909 IPRO**

A cultivar utilizada neste experimento foi da empresa Nidera, NS 6909 IPRO. Cultivar de porte médio, ciclo médio, seu grupo de maturação é de 6.0, tem hábito de crescimento indeterminado, o peso de mil sementes é de 191g (dados variáveis segundo o ambiente explorado pelo cultivar), a cor da sua flor é branca, da Pubescência é cinza e do Hilo é marrom-claro.

As características agrônômicas dessa cultivar é que tem uma alta exigência a fertilidade, assim ideal para ambientes de alta tecnologia, elevado potencial produtivo e um elevado peso de grãos. Esta cultivar se adapta bem nas regiões do Rio Grande do sul, sudoeste de Santa Catarina e sul do Paraná. É uma cultivar resistente ao Cancro da Haste, resistente a Pústula Bacteriana e suscetível a ferrugem asiática.

#### **4.2.3 Maquinário**

##### **I. Colheita**

Para a colheita utilizou-se uma colheitadeira Axial-Flow 8230 da case, equipada com o monitor AFS Pro 700 que possui uma das maiores telas touch-screen do mercado e é uma interface única para agricultura de precisão e controle

da máquina. Possui 6 telas com até 12 indicadores configuráveis por tela. Além da pré-disposição para envio e recebimento de informações sem fio, o monitor AFS Pro 700 possui uma entrada USB para armazenamento de parâmetros da máquina e de agricultura de precisão para análise gerencial no Software AFS.

## **II. Aplicação de fertilizantes**

Para aplicação de fertilizantes foi utilizado um Hércules 10000 inox de arrasto, equipado com o controlador Topper 4500, completa todos os seus trabalhos de precisão na lavoura. Possui tela colorida com capacidade de processamento de gráficos 3D, visualização tridimensional da aplicação e visualização do mapa com a taxa durante a aplicação. Sistema com maior proteção contra variações elétricas da máquina instalada, pois possui bateria interna e não desliga o equipamento ao dar partida no motor, evitando danos ao sistema elétrico. Plataforma de software estável, sendo amplamente utilizado em equipamentos já consagrados, pois garante maior imunidade a vírus. Compatível com mapas de prescrição no formato shape e geração de mapas de rastreabilidade no mesmo formato e em PDF (Acrobat®). Todas as atualizações de *software*, tanto da tela como das PODs, são via pen drive.

## **III. Aplicação de defensivos**

Para aplicação de defensivos foi utilizado um Uniport jacto 2500 star. Para o plantio foi utilizado uma semeadora adubadora de precisão John Deere com espaçamento entre linhas de 47cm.

### **4.3 CARACTERES AGRONÔMICOS AVALIADOS**

Os caracteres avaliados são os que seguem:

- Alumínio,
- Fósforo, potássio,
- Magnésio,

- cálcio,
- pH, índice SMP.

#### 4.4 MÉTODOS PARA SE DETERMINAR A DOSE DE CORRETIVOS

A quantidade de calcário a se aplicar pode ser estimada por vários métodos. Um dos métodos usados para tanto é o SMP, acrônimo de Shoemaker, Mc Lean e Pratt. Em diversos países, a solução-tampão SMP é o método mais utilizado na avaliação a acidez potencial, inclusive nos laboratórios de análises químicas de solo do Paraná (ROSSA, 2006).

Apesar de ter sido inicialmente desenvolvida para determinar a necessidade de calagem e estar sendo amplamente difundida para este fim, o método SMP vem sendo cada vez mais empregado no Brasil para a avaliação da acidez potencial. Isso se deve, principalmente, à simplicidade, rapidez, baixo custo e eficiência desse método (ROSSA, 2006).

Com vistas em estimar a acidez potencial de solos de diferentes estados e regiões brasileiras, vários estudos têm sido desenvolvidos por meio do pH SMP. Entre eles destacamos o de Pavanet *al.* (1996 *apud* ROSSA, 2006.), para o estado do Paraná. O método baseia-se na diminuição do pH de uma solução tamponada a pH 7,5 quando em contato com o solo. Tal diminuição do pH é proporcional à acidez potencial do solo, que é fator determinante da quantidade de corretivo necessária para neutralizar a acidez. Para ser usado, o SMP é calibrado contra um método padrão. O padrão normalmente usado para este fim é a incubação de amostras de solo de uma região com níveis crescentes de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) puro, durante o tempo necessário para sua reação completa e estabilização dos níveis do pH (ROSSA, 2006).

O método do tampão SMP, na forma atualmente empregada nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, permite determinar a necessidade de calagem para elevar o pH do solo a 6,5, 6,0 ou 5,5 (ROSSA, 2006).

O método SMP é atualmente empregado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, permitindo determinar a necessidade de calagem diretamente através de uma tabela. Este é o resultado de uma curva que relaciona a necessidade de calagem com pH da suspensão do solo com tampão SMP. A

vantagem principal deste método é que a necessidade de calagem pode ser obtida somente das medidas de pH desejado do solo e do pH SMP. Procura-se através deste método atingir um pH 6,0 em água para a maioria das culturas (1:1, relação solo:água) (LIMA *et al*, 2003*apud* ROSSA,2006.).

Tabela 2 - índice smp

Índice SMP	pH em água = 6,0
	----- t/ha -----
≤ 4,4	42,0
4,5	34,6
4,6	30,2
4,7	26,6
4,8	23,8
4,9	21,4
5,0	19,8
5,1	18,2
5,2	16,6
5,3	15,0
5,4	13,6
5,5	12,2
5,6	10,8
5,7	9,6
5,8	8,4
5,9	7,4
6,0	6,4
6,1	5,4
6,2	4,4
6,3	3,6
6,4	2,8
6,5	2,2
6,6	1,6
6,7	1,0
6,8	0,6
6,9	0,4
7,0	0,0

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC (1994)

A recomendação de adubação, visando atender às necessidades das plantas, no caso do K, principalmente nos latossolos e Nitossolos de origem basáltica do Paraná, é frequente a ocorrência de teores de K trocável acima do nível crítico para a cultura da soja. Nestas condições, sob alta disponibilidade do nutriente e reduzido potencial de resposta à adubação, é recomendável apenas a reposição do nutriente que será exportado pelos grãos de soja, aplicando-se 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para cada tonelada de grãos, de acordo com a expectativa de produção. Nesses solos manejados corretamente, principalmente com a adoção do plantio direto e da rotação de culturas, a eficiência do fertilizante potássico é superiora 90% (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2009).

## 4.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### **Procedimentos Realizados:**

- i. Foi feito a adubação da área com 150 kg de cloreto de potássio a lanço e 250 kg de fósforo na linha de forma homogenia em outubro de 2014.
- ii. Foi feito o plantio da cultura de verão (soja) em outubro de 2014, foi utilizado uma densidade de 16 plantas por metro lineares, foram feitas quatro aplicações de fungicida e herbicida, e duas aplicação de adubo foliar. A colheita foi realizada em março de 2015, com a elaboração dos mapas de produtividade da área testemunha.
- iii. Após a elaboração do mapa de produtividade foi realizado o planejamento da malha amostral para a coleta das amostras de solo em agosto de 2015.
- iv. Foram coletadas as amostras de solo em agosto de 2015 com o plantio sendo realizado em outubro de 2015.
- v. Após a coleta das amostras de solo, estes foram encaminhados para análises no laboratório de solo da UTFPR - Campus Pato Branco, em agosto de 2015.
- vi. A partir da determinação dos parâmetros dos resultados obtidos em laboratório foram elaborados mapas de isolinhas, os quais respeitaram parâmetros geoestatísticos de dependência espacial dos atributos químicos dos solos;
- vii. Elaboração do mapa de aplicação localizada de calcário.
- viii. Elaboração do segundo mapa de produtividade (produção 2015/2016), como resultado da aplicação localizada de calcário.
- ix. Análise/comparação dos mapas de produtividade, ou seja, sem a aplicação localizada de insumos (produção 2014/2015) e com a aplicação localizada de insumos (produção 2015/2016).

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 MAPAS DOS CARACTERES QUÍMICOS DO SOLO**

Elaboração dos Mapas das análises químicas do solo ajustados por geoestatística conforme sua dependência espacial para cada elemento químico, na sequencia veja os semivariogramas e os seus respectivos mapas.

#### **5.1.1 Semivariograma e mapa do teor de alumínio solo**

Solos ácidos associados a metais tóxicos são uma das maiores restrições à produção agrícola e, entre os metais, o alumínio destaca-se como um dos maiores problemas em solos com pH  $\leq$  5,0 (ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2001).

O semivariograma a seguir apresentará o resultado do ajuste geoestatístico realizado com o alumínio, veja (Gráfico1).

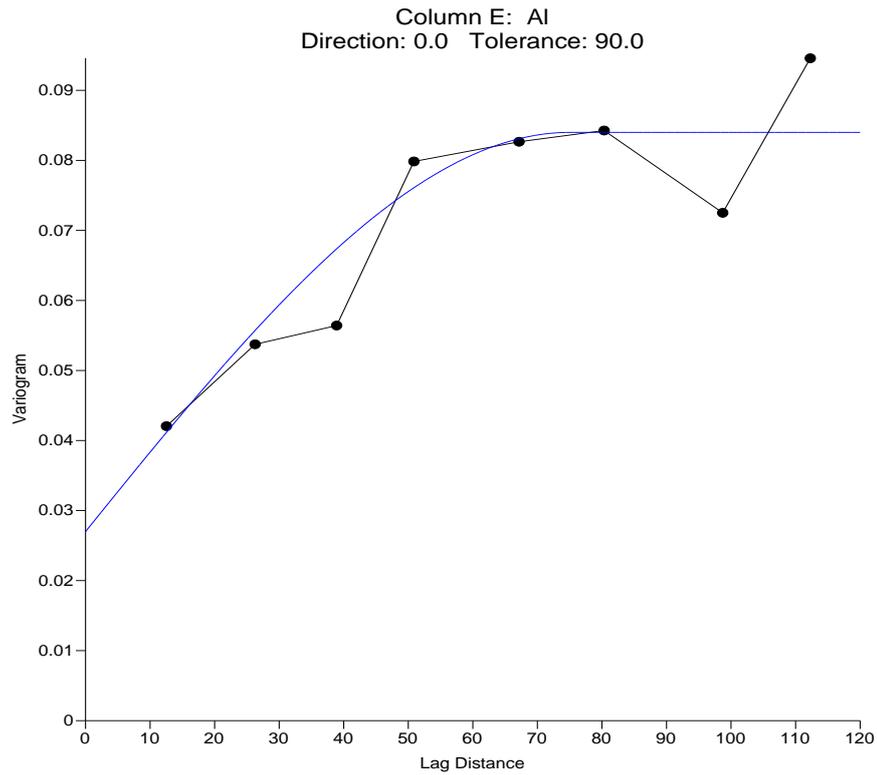


Gráfico 1 - Ajuste espacial alumínio

Como pode ser verificado no (Gráfico 1), os parâmetros obtidos no semivariograma serviram de base para o desenvolvimento do mapa de alumínio. Portanto, o alcance encontrado para este elemento ficou em torno de 70 metros. Assim, com essa dependência espacial foi elaborado o mapa de alumínio da (Figura 3).

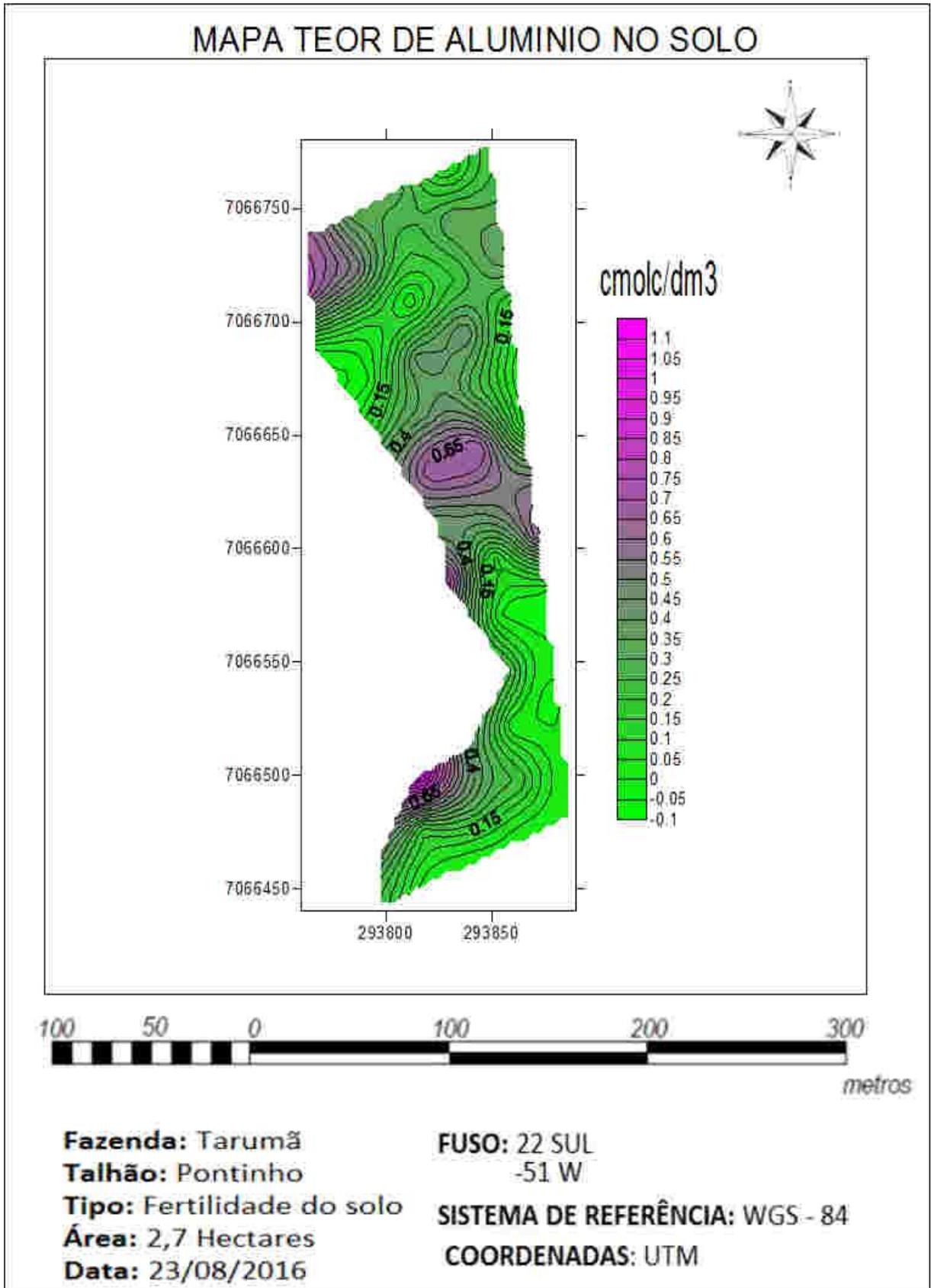


Figura 4 - Mapa - Teor de Alumínio

Ao analisar o mapa de teor de alumínio (Figura 3), com as cores variando de verde ao roxo, é possível observar no mapa as partes onde estão com colorações mais roxas, são locais que possuem um elevado nível de alumínio e podem afetar a produção da lavoura por influenciar no crescimento radicular e limitar a absorção de água e nutrientes.

Levando-se em conta que a maioria dos solos brasileiros apresenta acidez média a alta, a sua correção, ou seja, a calagem é um fator determinante na eficiência das adubações (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1991).

### **5.1.2 Semivariograma e mapa do teor de magnésio no solo**

De acordo com Matiello (2016), as deficiências de magnésio estão associadas a solos ácidos (sem calagem) ou em situações que provocam desequilíbrio, como excesso de adubação potássica ou o uso de calcário calcítico.

Os solos brasileiros, em sua grande parte, são ácidos e pobres em nutrientes. Neste caso, segundo Braga (2010), o cálcio e o magnésio podem apresentar teores muito baixos. São nutrientes importantes e necessários ao bom desenvolvimento das plantas, traduzindo-se em aumentos de produtividade. Eles guardam uma relação entre si, a chamada relação Ca:Mg. No caso da soja, a EMBRAPA preconiza uma relação Ca:Mg igual a 3,5. A literatura recomenda uma relação entre 3-5 como a ideal para a maioria das culturas. No entanto, deve-se ter em mente que o excesso de cálcio inibe a absorção de magnésio, e vice-versa. Além disso, o cálcio melhora a absorção do micronutriente Boro. Contudo, quanto mais cálcio é usado, mais boro é absorvido pela planta. Na escolha do corretivo, para neutralizar a acidez do solo, é imperativo considerar a relação Ca:Mg do produto.

O semivariograma a seguir apresentará o resultado do ajuste geoestatístico realizado com o magnésio, conforme (Gráfico 2).

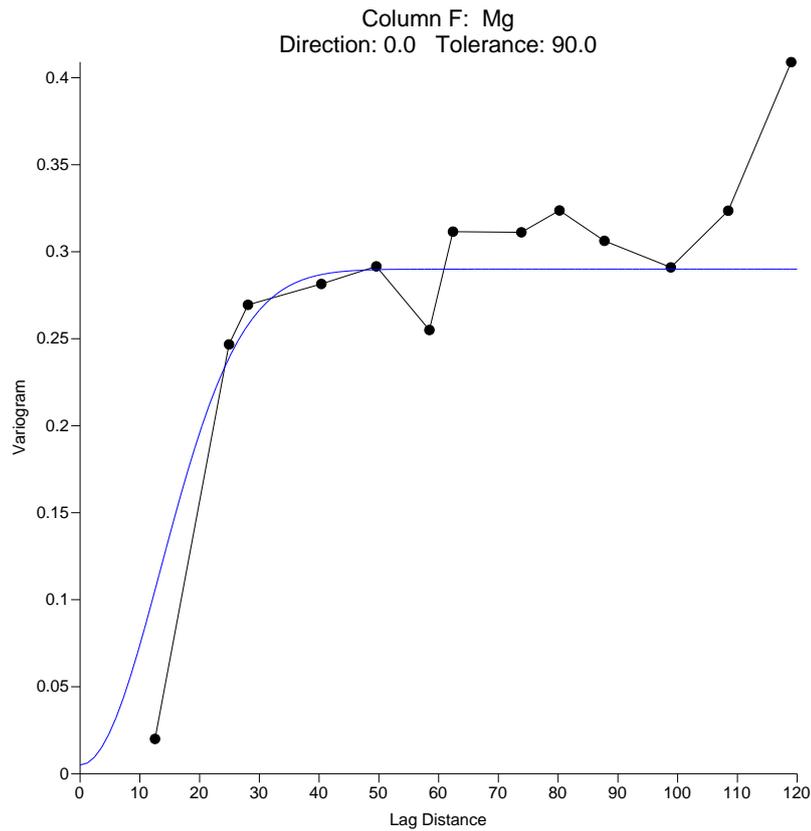


Gráfico 2 - Ajuste espacial do magnésio

Como pode ser verificado no (Gráfico 2), os parâmetros obtidos no semivariograma serviram de base para o desenvolvimento do mapa de magnésio. Portanto, o alcance encontrado para este elemento ficou em torno de 40 metros. Assim, com essa dependência espacial foi elaborado o mapa de magnésio da (Figura 4).

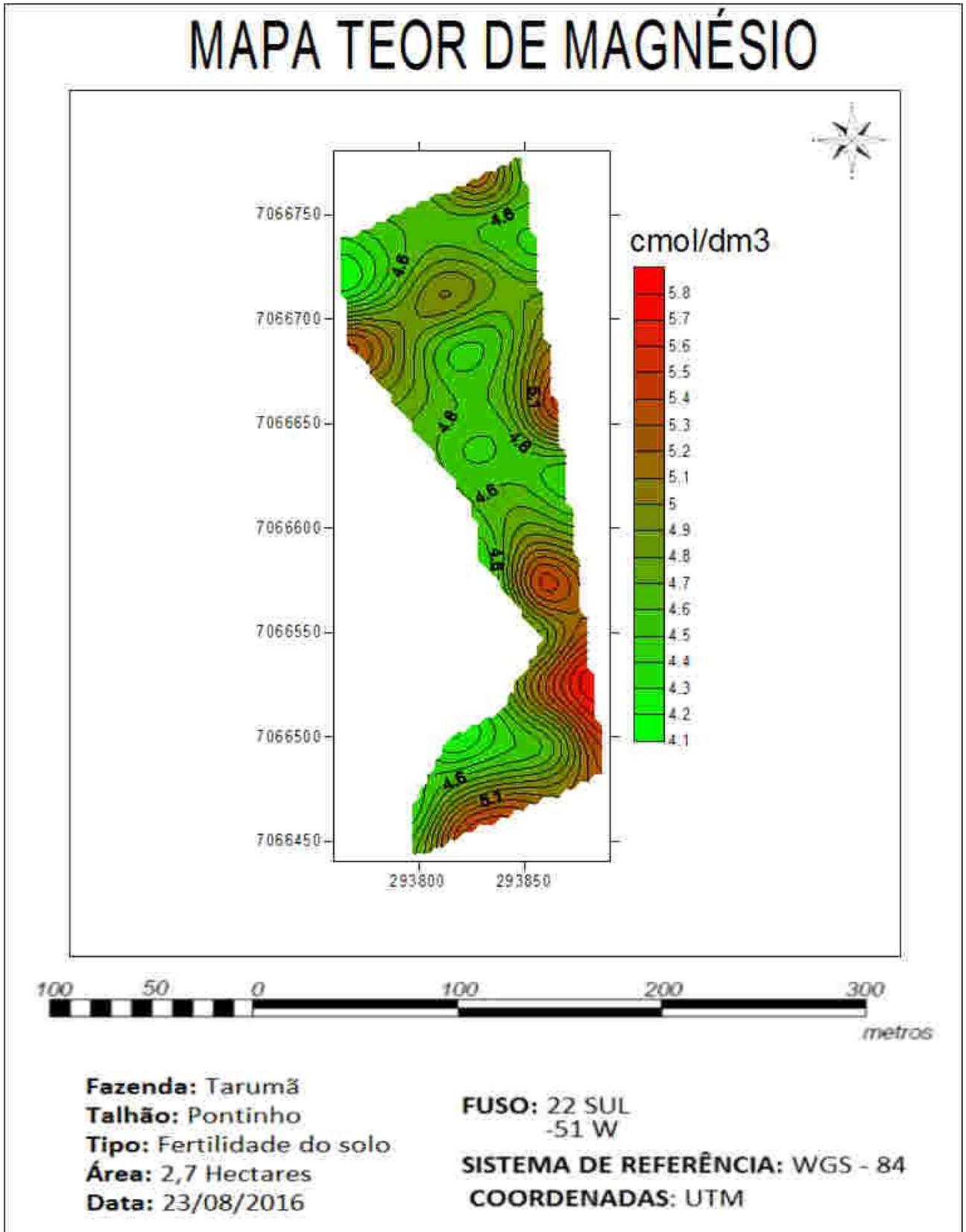


Figura 5 - Teor de magnésio

Como podemos ver no mapa (Figura4), nas partes mais vermelhas temos um nível mais elevado de magnésio e assim temos que tomar o cuidado com a relação com o cálcio, pois se este estiver baixo, ou seja, numa proporção de 1:1 esse magnésio pode inibir a disponibilidade de cálcio para a planta como menciona a Embrapa e assim trazendo perdas de produção.

### **5.1.3 Semivariograma e mapa do teor cálcio no solo**

Dentre os nutrientes, o cálcio geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos, que são típicos do território brasileiro. Tal nutriente participa nas funções estruturais, osmóticas e de mensageiro citoplasmático (SALVADOR; CARVALHO; LUCCHESI, 2011).

De acordo com Moreira; Carvalho e Evangelista (1999), o excesso de Ca em relação ao Mg na solução do solo prejudica a absorção deste último, assim como o excesso de Mg também prejudica a absorção de Ca.

Sabendo da importância do cálcio para as plantas, principalmente na função estrutural temos que dar uma maior atenção para esse elemento na parte de correção de solo, pois se a plantar não estiver bem estruturada a produção vai ser possivelmente afetada. Para a elaboração do mapa de cálcio foi feito o ajuste espacial conforme (gráfico 3).

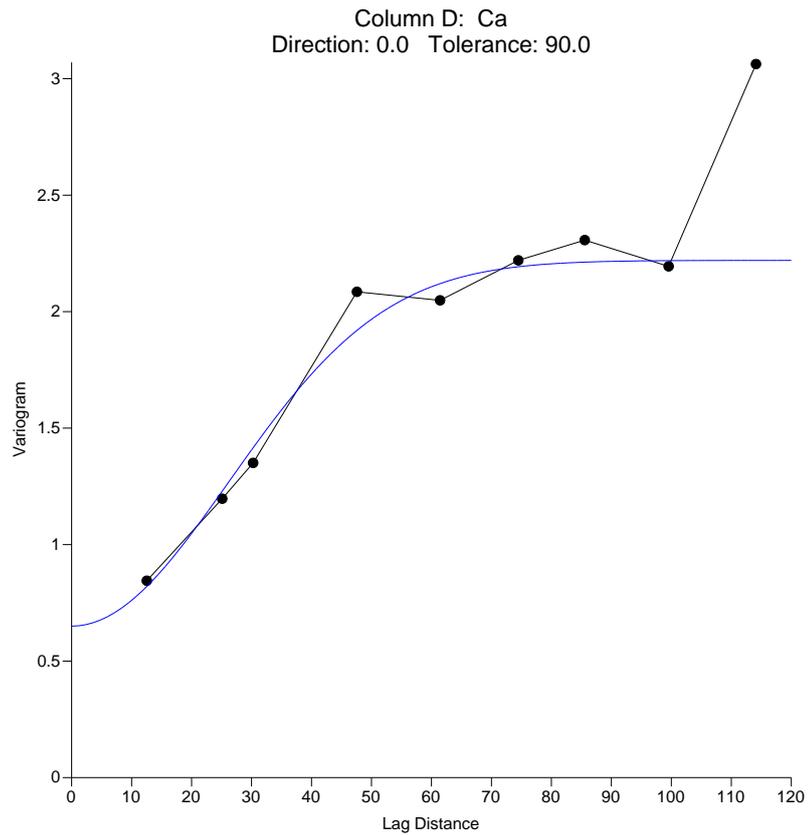


Gráfico 3 - ajuste espacial do cálcio no solo

Como podemos ver no (gráfico 3), o qual foi usada para desenvolver o mapa de cálcio, o ajuste da dependência espacial para este elemento ficaria até 70 metros. Assim com essa dependência espacial foi feito o mapa de cálcio da (figura 5).

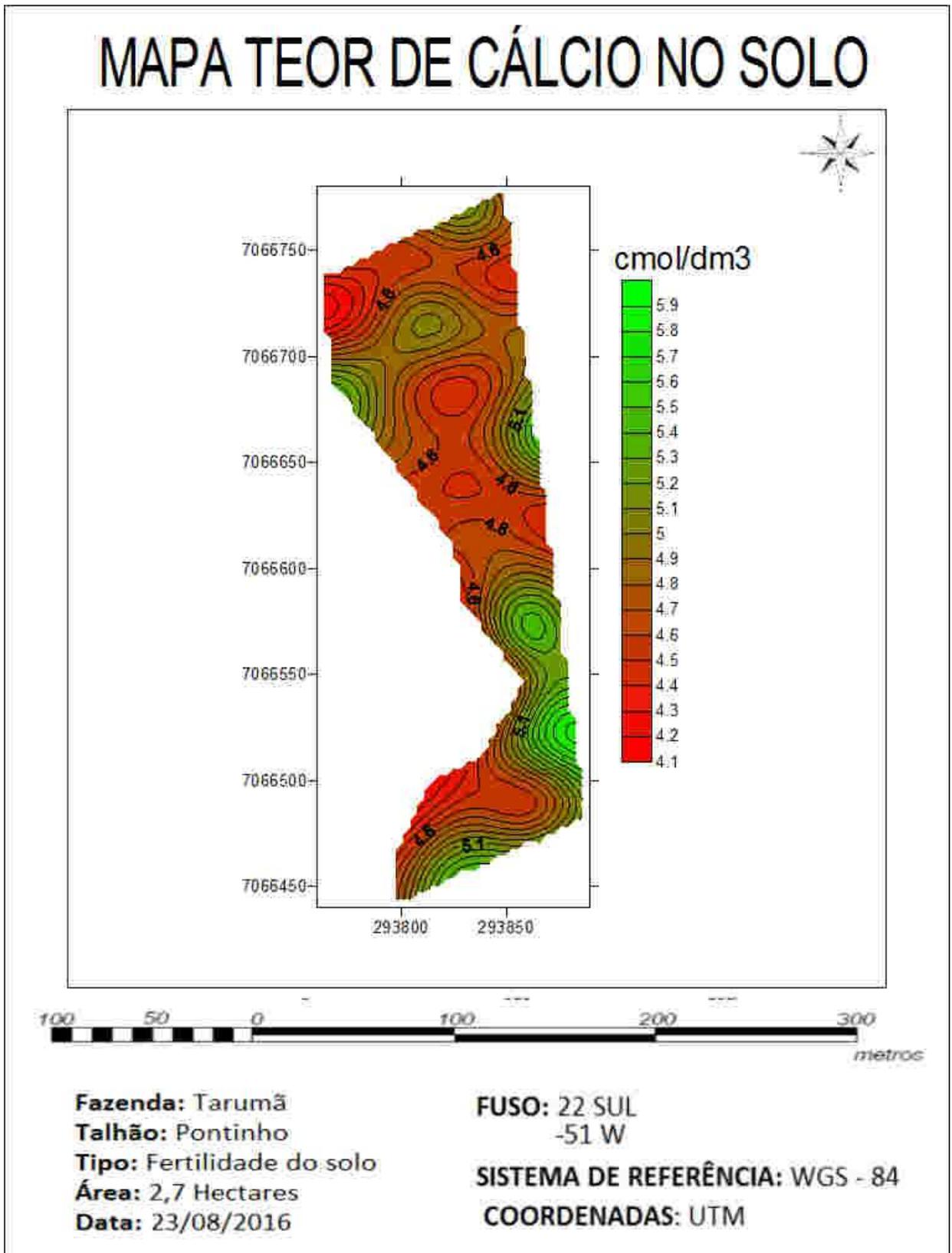


Figura 6 – Mapa teor de cálcio no solo

Ao analisar o cálcio na (Figura 5), foi possível verificar que nos pontos mais avermelhados temos uma menor quantidade de cálcio no solo, assim temos que fazer a correção para aumentar essa quantidade de cálcio e principalmente, elevar a relação cálcio:magnésio para que não ocorra a inibição de nem um elemento essencial para a planta.

#### **5.1.4 Semivariograma e mapa do pH do solo**

O pH, é um índice que indica o grau de acidez do solo, é de extrema importância, pois determina a disponibilidade dos nutrientes contidos no solo ou a ele adicionados e além disso, a assimilação dos nutrientes pelas plantas. Conforme Lopes e Magalhães (2010), o pH é a medida do balanço ácido de uma solução, definida como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio. A escala de pH varia de 0 a 14, sendo que os valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto os valores de 7 a 14 indicam aumento da alcalinidade.

Por sua vez, segundo Lopes e Magalhães Junior (2010), os valores de pH na lavoura estão relacionados a fatores naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, entre outros fatores.

De acordo com os mesmos autores, o pH pode se alterar em cada ponto da área por ser influenciado por vários fatores principalmente pela dissolução das rochas e oxidação da matéria orgânica que pode variar em poucos metros. Para o desenvolvimento do mapa de pH foi feito o ajuste espacial conforme segue o (Gráfico 4).

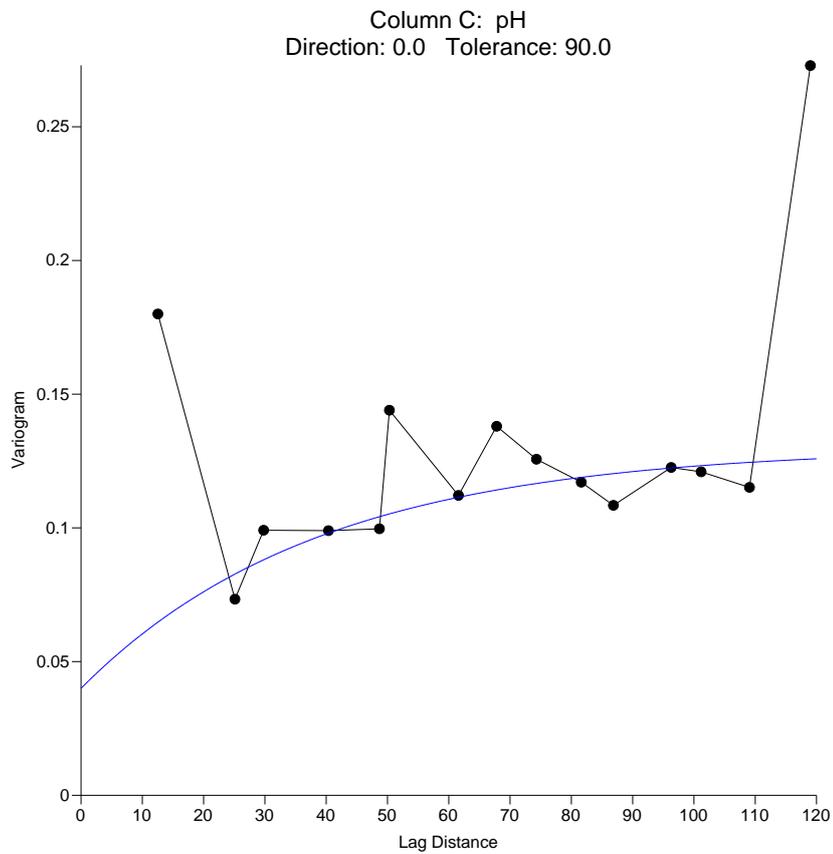


Gráfico 4 - Ajuste espacial pH

Como pode ser verificado no gráfico 4, os parâmetros obtidos no semivariograma serviram de base para o desenvolvimento do mapa de pH. Portanto, o alcance encontrado para este elemento ficou em torno de 50 metros. Assim, com essa dependência espacial foi elaborado o mapa de pH da (Figura 6).

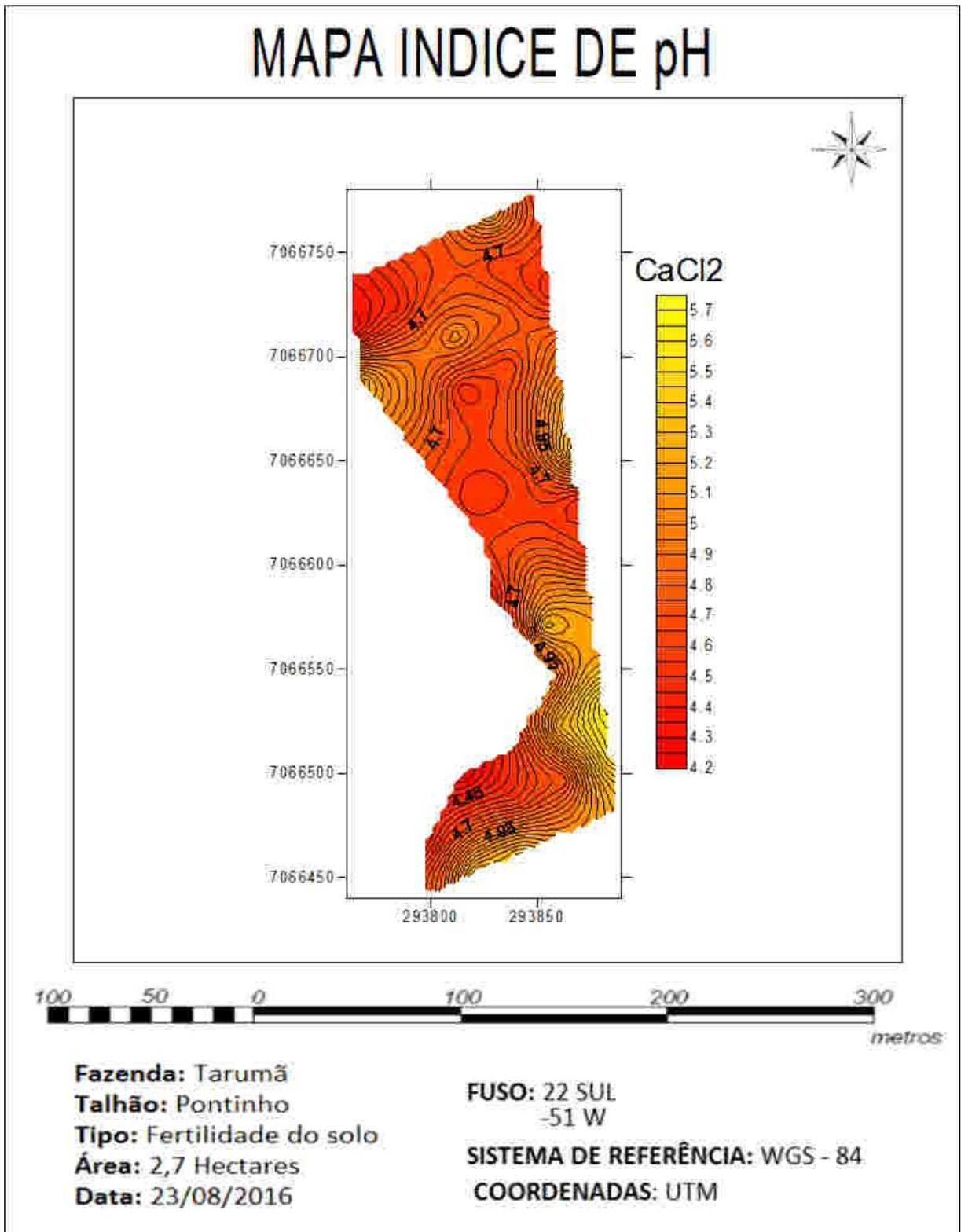


Figura 7– Mapa Índice de pH

Ao analisar o mapa (Figura6) da área experimental, é possível perceber que o pH sofre bastante alteração em distâncias pequenas e assim tendo que se tomar cuidado, pois as plantas requerem um pH mais próximo da alcalinidade, ou seja, em torno de 5,5 quando feito análise em  $\text{CaCl}_2$ , e no mapa temos pontos com pH próximos a 4,4 localizados nas partes vermelhas mais forte. Contudo, nesses pontos mais ácidos pode estar ocorrendo um menor desenvolvimento radicular das plantas e por sua vez ocorrendo a inibição de alguns nutrientes como o cálcio e a água.

### **5.1.5 Semivariograma e mapa do Índice SMP do solo**

Segundo Tomé (1997), o pH SMP baseia-se na correlação existente entre o índice SMP e a acidez potencial do solo ( $\text{H}+\text{Al}$ ). Quanto mais baixo o índice SMP, maior a quantidade de  $\text{H}+\text{Al}$  do solo e, portanto, maior a quantidade de calcário a ser aplicada para atingir um pH adequado neste solo.

Contudo, neste trabalho foi feito a recomendação de calagem segundo o índice SMP, por ser um método mais prático e que tem demonstrado bons resultados. Então, para a elaboração do mapa do índice SMP foi feito o ajuste espacial conforme (Gráfico 5).

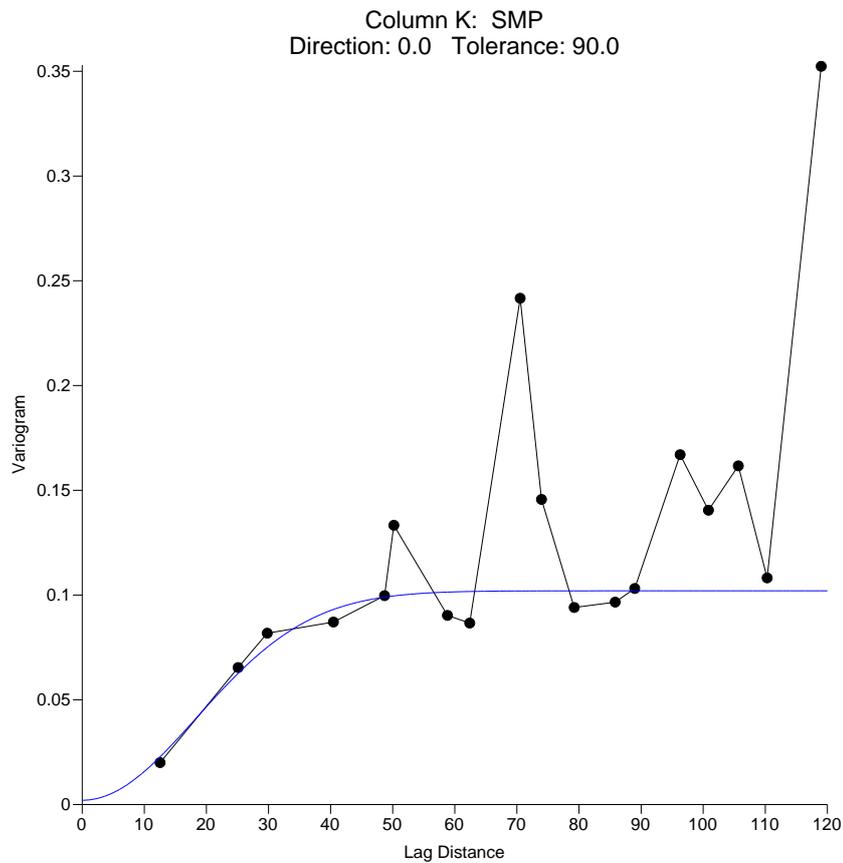


Gráfico5 - Ajuste espacial

Como pode ser verificado no (Gráfico 5), os parâmetros obtidos no semivariograma serviram de base para o desenvolvimento do mapa do índice SMP. Portanto, o alcance encontrado para este índice ficou em torno de 50 metros. Assim, com essa dependência espacial foi elaborado o mapa do índice SMP da (Figura 7).

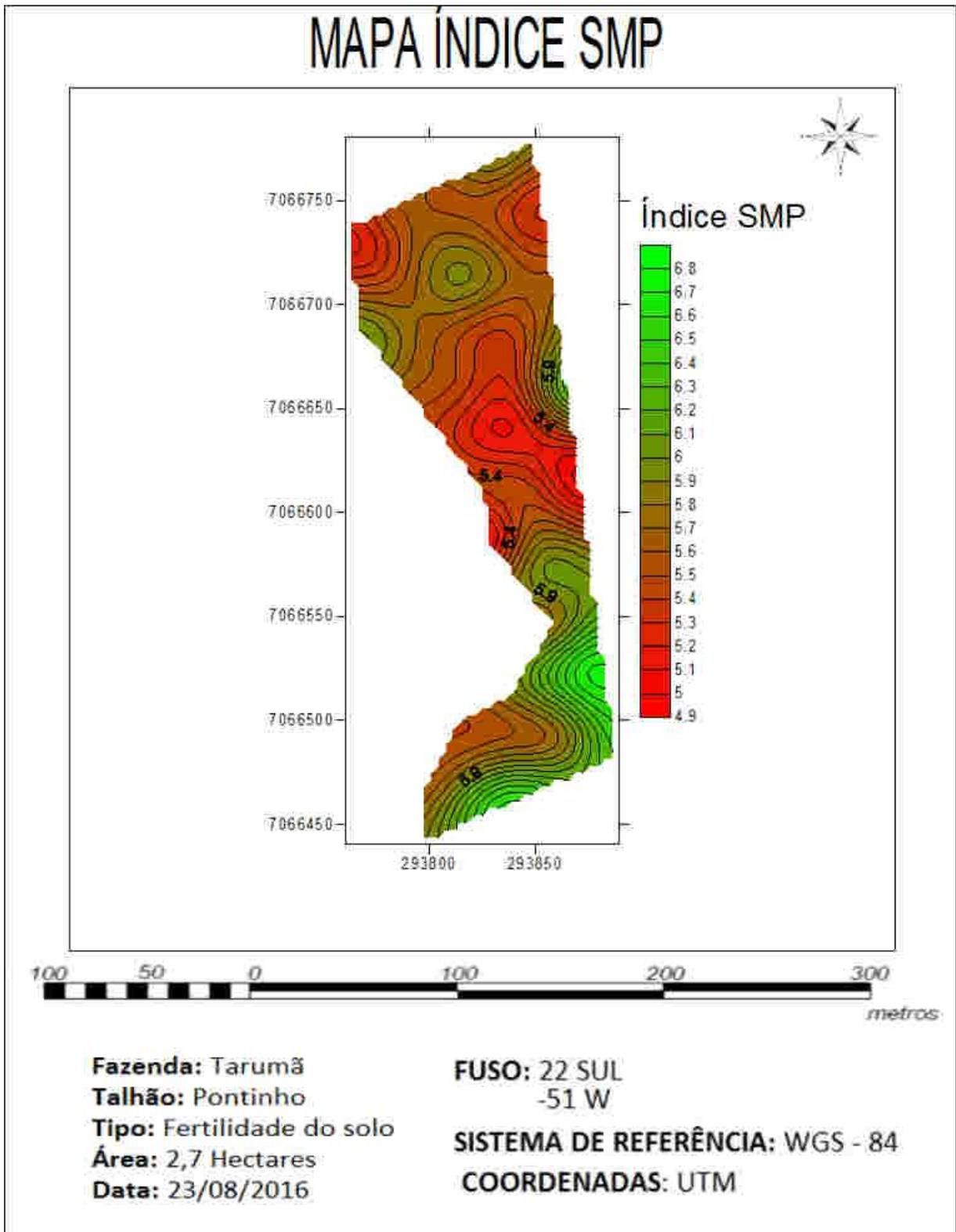


Figura 8 – Mapa Índice SMP

Este mapa, (figura 7) resultou no mapa de aplicação de calcário, veja (Figura 9), pois onde o índice SMP estiver baixo, ou seja, onde no mapa estiver mais vermelho a quantidade de calcário a ser recomendada deve ser maior, visto que precisará mais solução tampão (SMP) para neutralizar o solo. É importante ressaltar que se deve tomar cuidado na escolha de qual calcário vai ser utilizado, pois o calcário tem em sua base o cálcio e o magnésio que são elementos essenciais para a cultura da soja, e estes devem estar de acordo com a relação cálcio/magnésio ideal para a cultura. Todavia, temos vários tipos de calcário, uns com uma porcentagem maior e outros com uma porcentagem menor de cada nutriente, contudo deve ser aplicado aquele que se adequa melhor na relação desejável em cada talhão.

#### **5.1.6 Semivariograma e mapa do Potássio do solo**

O potássio (K) desenvolve um papel vital em numerosas e importantes funções metabólicas da planta. O potássio é absorvido pela planta de duas maneiras, a primeira é a absorção do íon  $K^+$  da superfície das raízes por difusão, um processo que não requer energia despendida pela planta, o segundo processo envolve o transporte do íon  $K^+$  através da membrana da raiz e liberá-lo no interior da mesma, este processo requer energia que a planta obtém pela respiração.

Em solos deficientes, o potássio pode se esgotar em menos de um dia. Há necessidade de liberar potássio para a solução do solo. Este processo se dá pela troca de cátions, onde o potássio trocável cede o seu lugar e migra para a solução do solo, daí a necessidade de manter uma quantidade de potássio no solo.

O potássio é vital na relação água-planta, pois ajuda a manter a pressão interna das células da planta. O sistema radicular, em plantas deficientes em potássio, será menos profundo e pouco desenvolvido, o que prejudicará a absorção de água e nutrientes.

Sabendo-se da grande importância do potássio para as plantas, principalmente na retenção de água nas células, e por fim na absorção de nutrientes, foi elaborado o ajuste espacial conforme (Gráfico 6).

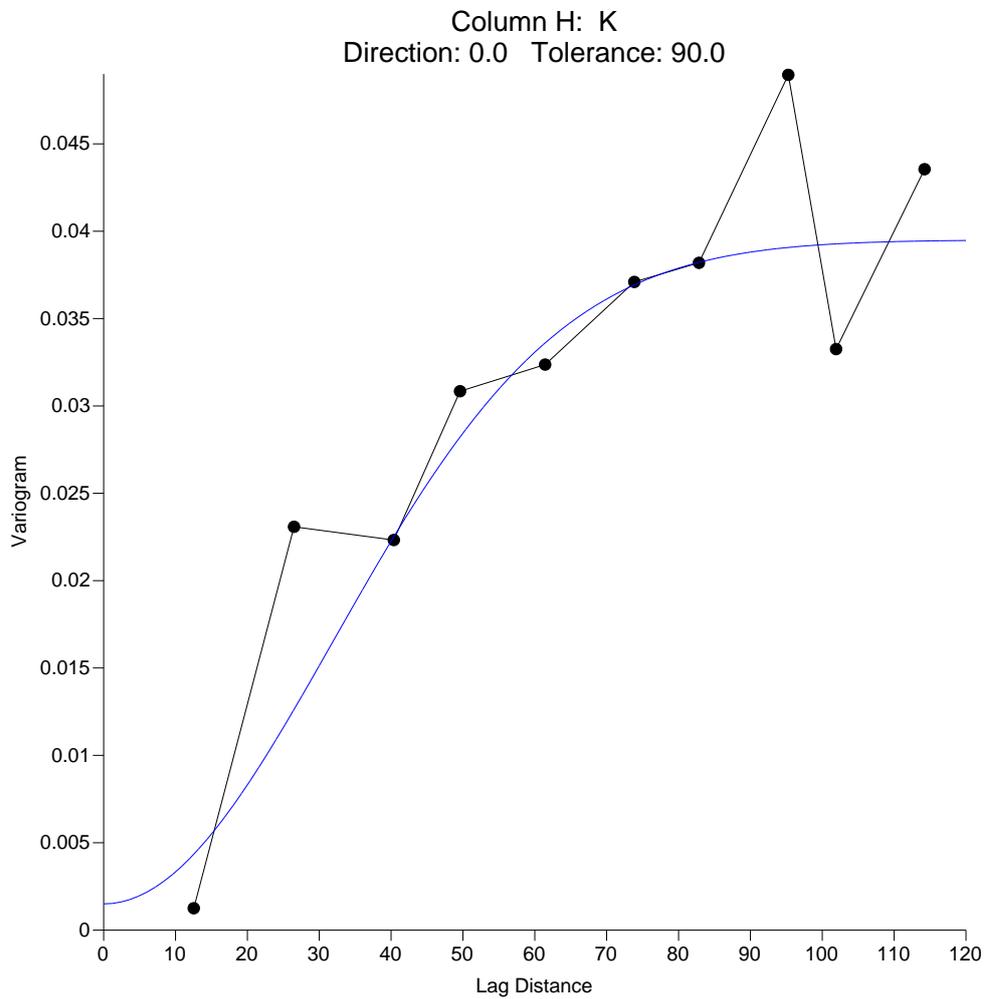


Gráfico 6 - Ajuste espacial do potássio

Como pode ser verificado (gráfico 6), os parâmetros obtidos no semivariograma serviram de base para o desenvolvimento do mapa do potássio. Portanto, o alcance encontrado para este índice ficou em torno de 50 metros. Assim, com essa dependência espacial foi elaborado o mapa do potássio da (Figura 7).

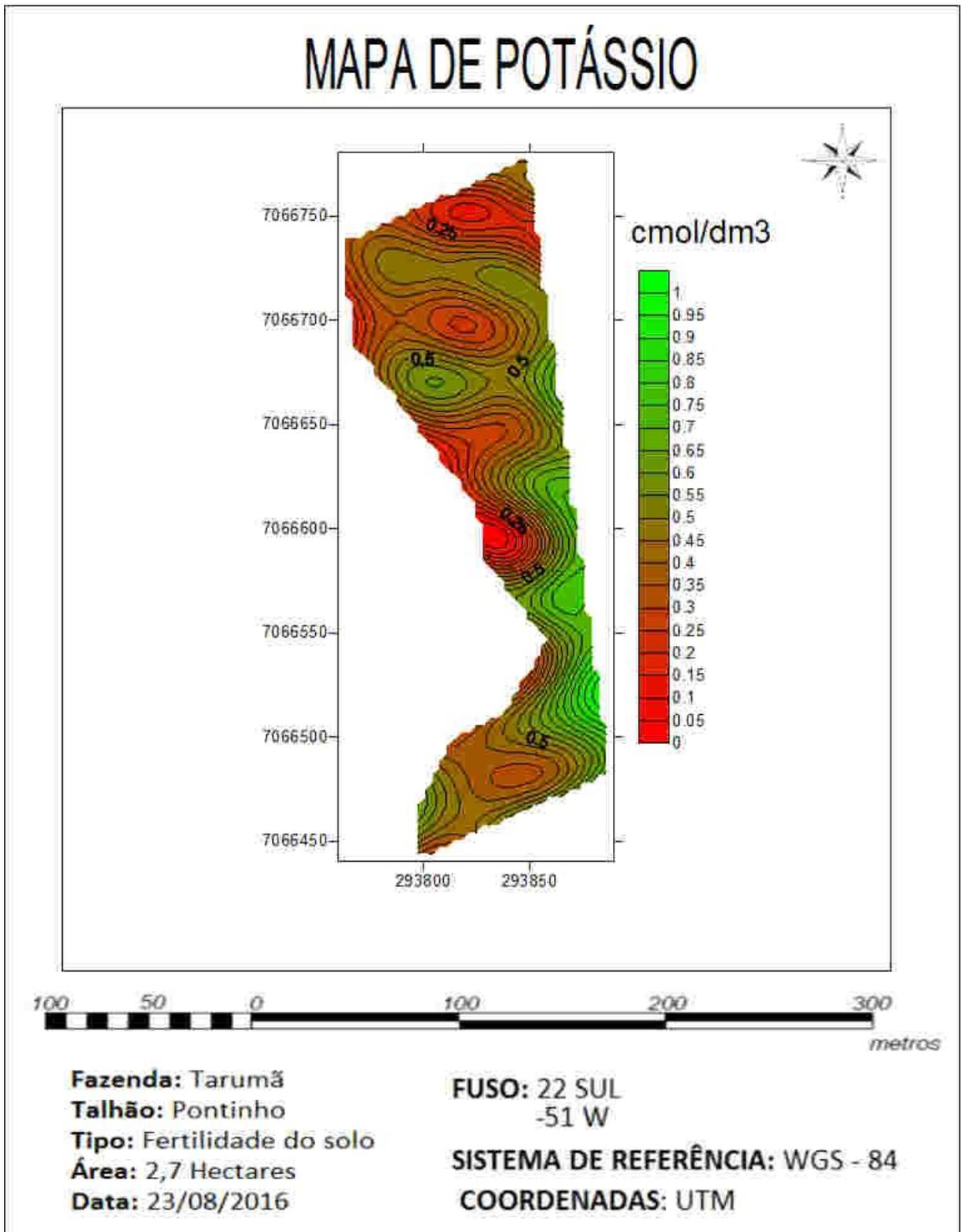


Figura 9 – Mapa potássio

Ao analisar o mapa da área experimental, é possível perceber que o potássio sofreu alteração menos severas em distâncias pequenas, mas mesmo assim tem talhões com um baixo teor de potássio como podemos ver na (Figura 8),

onde se encontra mais em vermelho, e esses talhões devem ser analisados e feita a correção pois o potássio em nível baixo pode afetar na absorção de água e de nutrientes e assim desfavorecer as plantas nessas regiões.

### **5.1.7 Mapas de aplicação localizada calcário e cloreto de potássio**

#### **5.1.7.1 Cloreto de Potássio**

Segundo Martinset *al.* (2013), o potássio é um dos nutrientes mais absorvidos pela soja e um dos mais sujeitos a perdas no ambiente. O uso de cloreto de potássio tem sido proposto como uma forma de aumentar a eficiência dos fertilizantes.

Conforme Malavolta (1980), o fornecimento adequado de K para a soja promove o aumento da nodulação, do número de vagens com grãos, do tamanho da semente, do teor de óleo da semente e a diminuição do número de grãos enrugados.

Assim, sabendo da grande importância do potássio para a soja foi desenvolvido o mapa para correção deste elemento na área do experimento, conforme segue a (Figura 8).

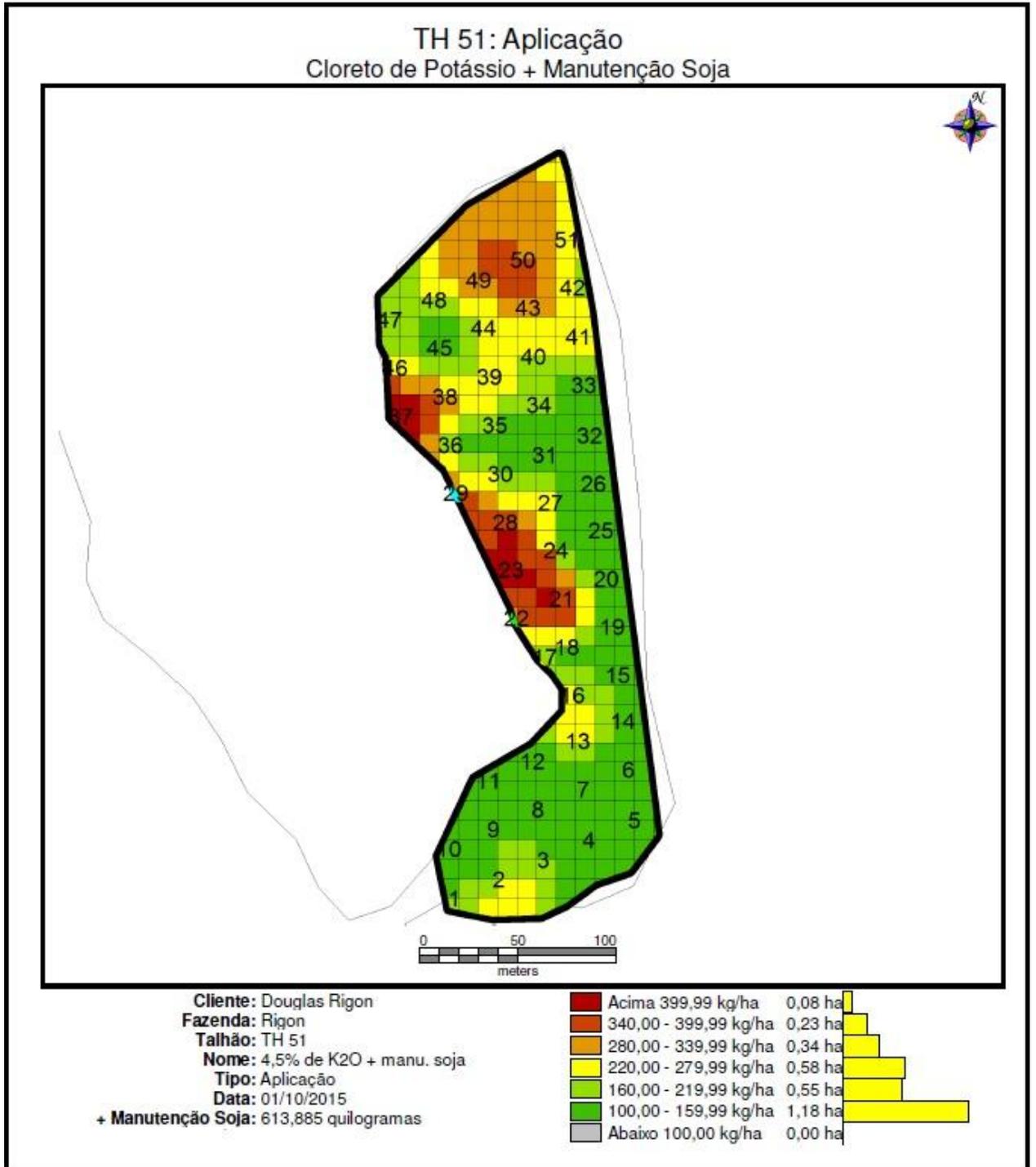


Figura 10 - Mapa de aplicação de Cloreto de potássio.

Em 2015 foi realizada a aplicação de cloreto de potássio localizada, com um equipamento a lanço de precisão, antes do plantio da soja, conforme pode ser verificado no mapa anterior, variando de 100 a 400 kg/ha, conforme a necessidade, segundo análise de solo feita em laboratório e sua deficiência de potássio na CTC de cada talhão da área.

#### **5.1.7.2 Calcário**

O calcário para fins agrícola é utilizado para corrigir a acidez do solo. Ao mesmo tempo em que faz essa correção, o calcário também fornece cálcio e magnésio indispensáveis para a nutrição das plantas. A aplicação do calcário aumenta a disponibilidade de elementos nutrientes para as plantas e permite a maximização dos efeitos dos fertilizantes, e conseqüentemente o aumento substancial da capacidade produtiva da terra.

A aplicação do calcário no solo (calagem), além de corrigir a acidez do solo, também fornece os macronutrientes cálcio (CaO) e magnésio (MgO), neutraliza o efeito fitotóxico do alumínio e do manganês, aumenta a disponibilidade de elementos nutrientes para as plantas, e potencializa os efeitos dos fertilizantes. Resultados destes efeitos, é um aumento substancial da capacidade produtiva do solo (CALCÁRIO BOTUVERÁ, 2016).

Assim, sabendo da importância do calcário para correção da acidez do solo foi feito o mapa de aplicação de calcário calcítico, conforme (Figura 9).

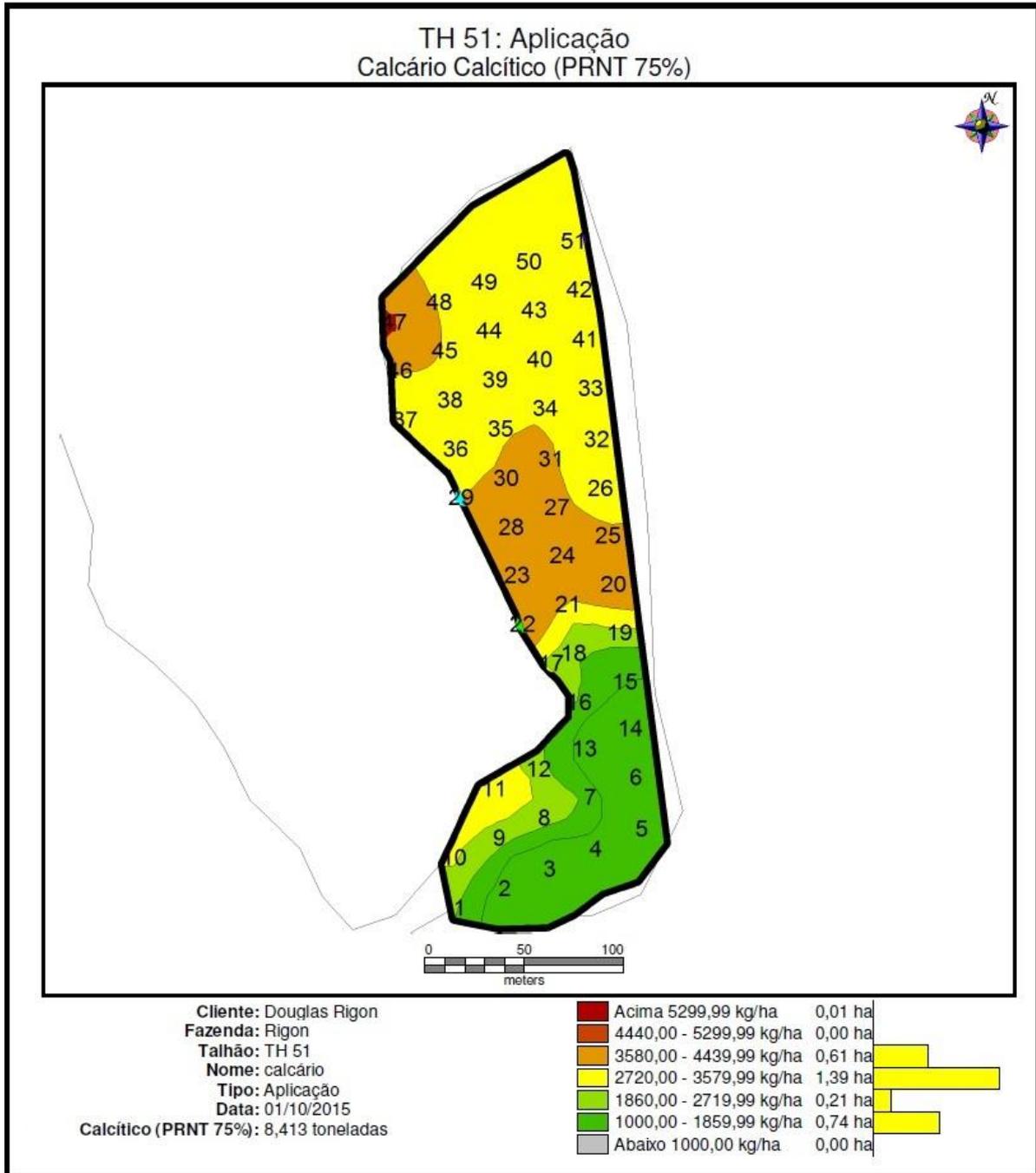


Figura 11 - Mapa de aplicação de calcário.

Em 2015/2016 foi realizada a aplicação de calcário calcítico localizada, com um equipamento a lanço de precisão, antes do plantio da soja, conforme pode ser verificado no mapa da (Figura 9), variando de 1000 a 4500 kg/ha, conforme o índice SMP de cada talhão da área.

## 5.2 RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Em 2014/2015 antes de ser realizada a implantação do experimento foi elaborado um mapa de colheita, isto feito com uma colheitadeira equipada com um monitor de produtividade para que se obtivesse os resultados de colheita mais precisos e demonstrando a produtividade em cada parte da área, como mostra o mapa (Figura 10). Pode-se verificar que há uma variação bem distinta na produção, variando em média de 2500 a 4000 kg/ha, e fechando com uma média de produção de 3400 kg/ha.

### 5.2 .1 Mapa de Produtividade Safra 2014/2015

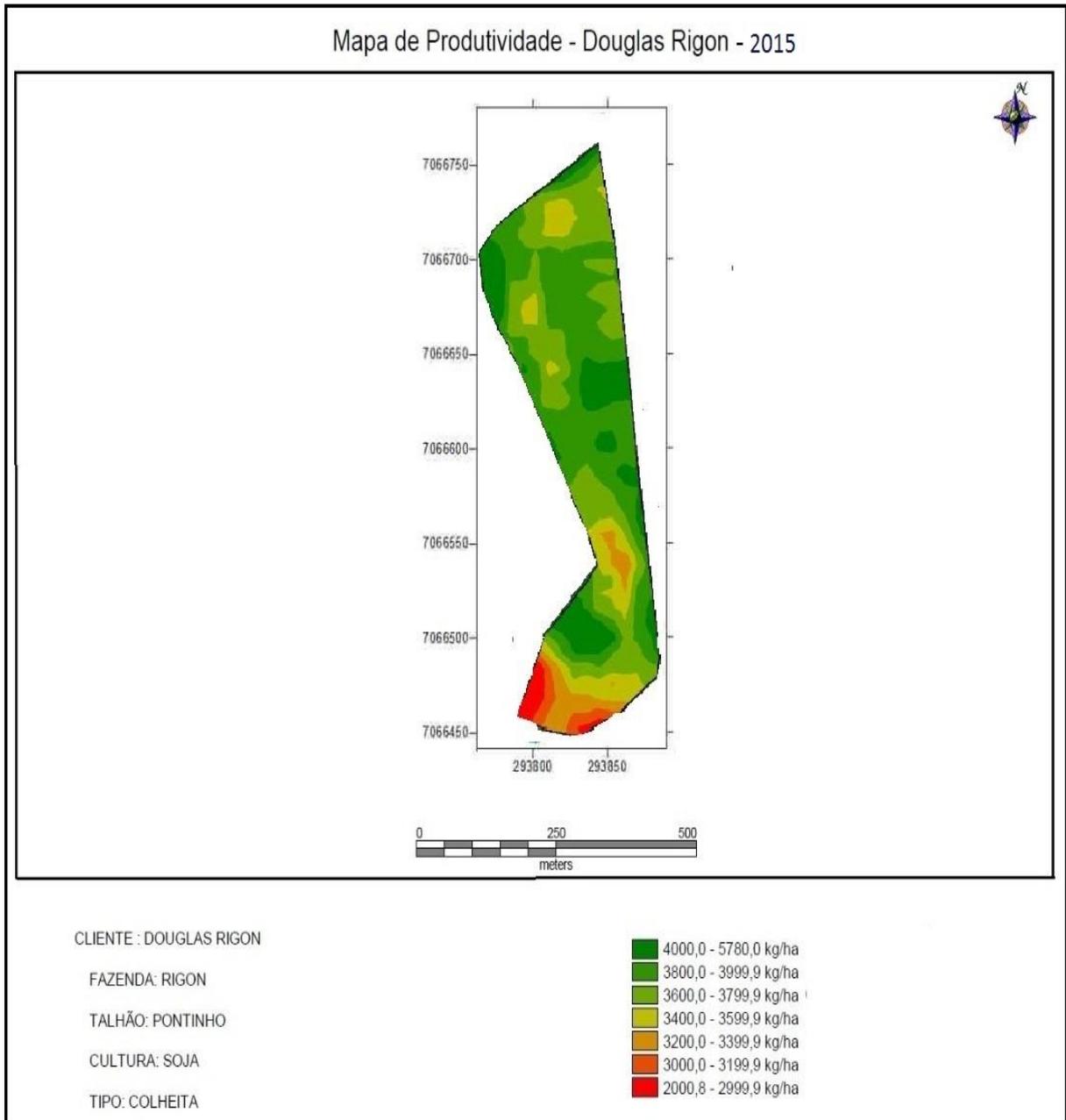


Figura12 - Mapa de produtividade safra 2014/2015

Este mapa (Figura 10) trás o raio-x da área em experimento, pois foi através dele que foi feito a maioria das tomadas de decisão. Como pode ser visto, este mapa trás algumas regiões com uma baixa produção, como pode ser visto as região mais em vermelho. Esta foi analisada com maior êxito e foi percebido que tinha problema com compactação. Assim foi tomada a decisão de ser feita a escarificação dessa área localizada. Nos demais locais foi mantido o plantio direto e feito somente a aplicação de insumos localizada.

### **5.2.2 Mapa de produtividade safra 2015/2016 (após implementação da aplicação localizada de insumos)**

Após realização de todas as análises químicas e feitas às aplicações de insumos, calcário, cloreto de potássio localizada na área, em 2015/2016 foi realizada novamente a colheita com o monitor de produtividade. E assim observa-se um avanço no experimento, pois como se pode verificar no mapa da figura 11, a ocorrência de uma uniformidade maior do que no mapa de colheita de 2014/2015, com a produtividade variando em média de 3800 a 5700 kg/ha, e fechando com uma média de produção de 5000 kg/ha. Com isso houve uma maior uniformidade da produção. Portanto, tal resultado pode ser verificado no mapa de colheita da (Figura 11).

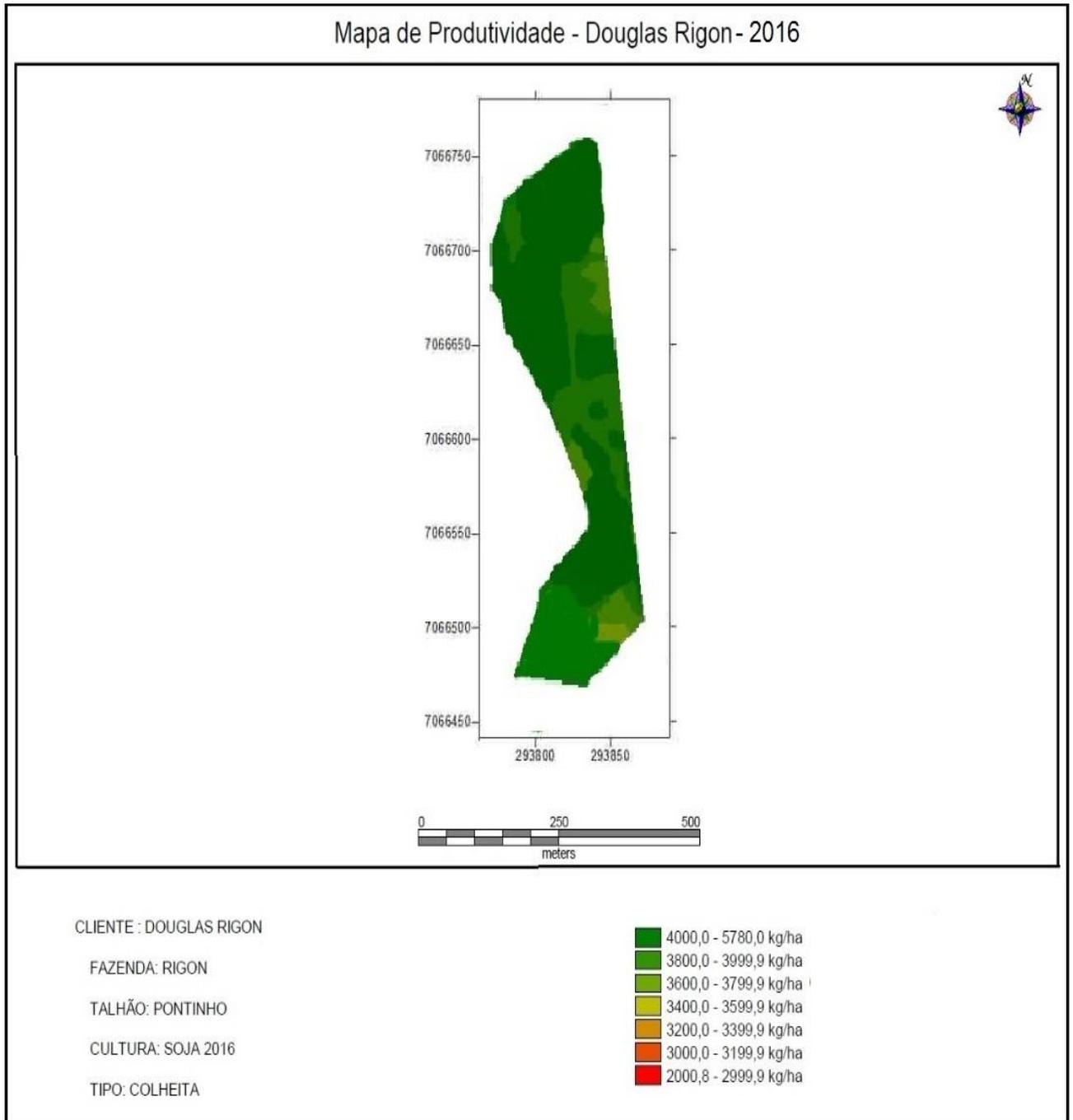


Figura 13 – Mapa de produtividade

Pode-se observar ainda, que mesmo com uma maior uniformidade na produção, o mapa (Figura 11) tem algumas regiões ainda com uma produção menor, estas estão representadas por uma coloração verdes mais fracas. Mas toda via estas regiões podem ter algum fator que não seja nutricional que esteja influenciando para que não se obtive-se um melhor rendimento, este fator pode ser a compactação.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

Contudo, este trabalho trouxe um resultado considerável para a área experimental, pois possibilitou aumento expressivo de 47% na produção total da área na safra 2015/2016.

Com isso, pode-se verificar, que a pesquisa indicou que as coletas de solos para alguns elementos devem variar de no máximo até 70 metros de distância umas das outras, e para outros elementos, no máximo de 40 metros de um ponto ao outro. Assim, conclui-se que deve ser feita uma amostra em cada 0,16 hectare, para estas amostras serem expressivas e terem uma dependência espacial.

Ainda pode-se concluir com este trabalho que houve uma maior uniformidade no mapa de colheita após feitas as análises e aplicação localizada de insumos, pois houve um aumento expressivo de produção, ou seja, passando dos 3400 kg/ha em média, para uma produção de 5000 kg/ha em média.

Cabe ainda salientar, como sugestões futuras, a implantação de um estudo para definir os valores investidos na agricultura de precisão, bem como o seu retorno econômico. Trabalhar mais unidades amostrais (parcelas) distribuídas ao longo da área, inclusive com parcela testemunha (sem AP). Assim como, sugere-se a continuidade com o estudo na área experimental para uma futura definição de zonas de manejo.

## 7 REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A., LOPES, A.S. **Os Adubos e a eficiência das adubações**. 2. ed. São Paulo: Anda, 1991.

AGRONOMIA COM GISMONTI. **As funções do potássio para as plantas**. Disponível em: <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2010/04/as-funcoes-do-potassio-para-as-plantas.html>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

BALASTREIRE, Luiz. **Novidades no campo: geotecnologias renovam agricultura**. (200). Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/02/02/novidade-no-campo-geotecnologias-renovam-a-agricultura/>>. Acesso em: abr. 2016.

BARBIERI, Diogo Mazza. **Formas do relevo e variabilidade espacial de atributos químicos e mineralógicos de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar**. Mestrado (Dissertação) - Apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal. Jaboticabal (SP) 2007.

BAIO, Fábio Henrique Rojo. **Metodologia para ensaio de sistemas de direcionamento via satélite em percursos retos e curvos**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu. Botucatu (SP), 2005. Disponível em: <[http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101789/baio\\_fhr\\_dr\\_botfca.pdf?squence=1](http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101789/baio_fhr_dr_botfca.pdf?squence=1)>. Acesso em: abr. 2016.

BRAGA, Gatão Ney. **A relação Ca:Mg do solo e o ideal para as plantas**. (2010). Disponível em: <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2010/08/relacao-camg-do-solo-e-o-ideal-para-as.html>>. Acesso em: 26 set. 2016.

CALCÁRIO BOTUVERÁ. **Calcário**. Disponível em: <<http://www.calcariobotuvera.com.br/produtos-e-servicos/>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (1994). Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Maca/ProducaoIntegra daMaca/tabsolo.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

ECHART, Cinara Lima; CAVALLI-MOLINA, Suzana. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Cienc. Rural**, v.31, n. 3 Santa Maria, mai/jun, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>>. Acesso em 10 set. 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária. **Agricultura de precisão**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

FRANCETTO, Tiago Rodrigo. **As vantagens da agricultura de precisão**. (2010). Disponível em: <<http://tiagofrancetto.blogspot.com.br/2010/01/as-vantagens-da-agricultura-de-precisao.html>>. Acesso em: abr. 2016.

LOPES, C.F.; TAMANINI, C.R.; MONTE SERRAT, B., LIMA, M.R. **Acidez do solo e calagem**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Projeto de Extensão Universitária Solo Planta, 2002. (Folder).

LOPES, Frederico Wagner de Azevedo; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**: análise dos estudos recentes sobre recursos hídricos e suas conexões com a geografia física. (2010). Disponível em: <<http://igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/viewFile/519/390>>; Acesso em: 15 set. 2016.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MARTINS, Isaac Silva; HANAUER, Rodrigo; SANTOS, Astúrio Silva; MARTINS, Isaias Silva; FERREIRA, Ismael. Produtividade de soja sob aplicação de cloreto de potássio em pré-plantio e pós-plantio. **Nucleus**, v. 10, n. 2, out. 2013. Disponível em: <http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/viewFile/951/1207>. Acesso em: 22 nov. 2016.

MATIELLO, J. B. **Deficiência e desequilíbrio de magnésio no solo e em cafeeiros**. Clube de Tecnologia Cafeeira. Disponível em: <<http://fundacaoprocafe.com.br/downloads/Folha018Magnesio.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2016.

MOLIN, José Paulo. **Agricultura de Precisão, um conjunto de novas ferramentas para a agricultura**. Disponível em: <<http://www.senar.org.br/agricultura-precisao/artigos-e-palestras/artigo-agricultura-de-precisao-um-conjunto-de-novas-ferramentas-para-a-agricultura/>>. Acesso em; abr. 2016.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio: magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999. Disponível em: Acesso em: 2 out. 2010.

MUNICÍPIO DE CAMPO ERÊ. Disponível em: <<http://www.cidade-brasil.com.br/municipio-campo-ere.html>>. Acesso em: mai. 2016.

NUNES, José Luis da Silva. **Agricultura de Precisão**. Agrolink. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/georreferenciamento/AgriculturaPrecisao.aspx>>. Acesso em: abr. 2016.

OLIVEIRA, Wally Stanley Araujo de. **Avaliação dos atributos químicos e físico de um solo submetido a diferentes tipos de uso no Acre**. 2009. 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Federal do Acre, Rio Branco – Acre, 2008. Disponível em: <<http://www.ufac.br>>. Acesso em: abr. 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, Adilson; CASTRO, Cesar; OLIVEIRA, Fábio, JORDÃO, Luiz. **Adução potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes.** (2009). Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/272AC1ADEF76D54B83257BF80046D30F/\\$FILE/Page1-10-143.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/272AC1ADEF76D54B83257BF80046D30F/$FILE/Page1-10-143.pdf)>. Acesso 10 nov. 2016.

ROSSA, Überson Boaretto. Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná. Fls. 137. Mestrado (Dissertação) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SALVADOR, Jetro Turan; CARVALHO, Tereza Cristina; LUCCHESI, Luiz Antonio Corrêa. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica, Ciências Agrárias Ambiente**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011.

SOUZA, Maria Cristina M. Ribeiro de *etal.* **Avaliação dos teores de alumínio encontrados em análises de solo do município de Ibiapina – CE.** I Simpósio brasileiro sobre o uso múltiplo de água. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/soloaguaclima/doc/Raimundo/RE7.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2016.

TREVISAN, Rodrigo G.; MOLIN, José P. Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para Agricultura de Precisão. **Boletim Técnico 1.** (2014). Disponível em: <<http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/agricultura-de-precisao---boletim-tecnico--02-12-2014.PDF>>. Acesso em: abr. 2016.

TSCHIEDEL, Mauro; FERREIRA, Mauro Fernando. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciencia Rural**, v. 32 n.1 Santa Maria, Fev. 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782002000100027](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782002000100027)>. Acesso em: abr. 2016.

VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 47/50, p. 32-33, 1998.

Disponível em: <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2010/04/as-funcoes-do-potassio-para-as-plantas.html>> Acesso em: 22 nov. 2016

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

Delfiner, P. and Delhomme, J.P., 1975. Optimum interpolation by kriging. In: J.C. Davis and M.J. McCulloch (Editors), Display and Analysis of Spatial Data. Wiley, New York, N.Y., pp. 50-114.

Matheron, G. (1971). The Theory of Regionalized Variables and Its Applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, No. 5. Fontainebleau: Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

CLARK, I. (1979) - Pratical geostatistics. London: Applied Science Publishers, 129p.

Disponível em: <http://www.sementesmutuca.com.br/index.php/bmx-ativa-rr/> Acesso em: 22 nov. 2016

Disponível em: <http://www2.niderasementes.com.br/produto/ns-6909-ipro.aspx> Acesso em: 22 nov. 2016