

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

**ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA BASEADA
NOS TEORES MÍNIMOS DE FÓSFORO E
POTÁSSIO NO SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Júnior Henrique Milanesi

Santa Maria, RS, Brasil

2015

ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA BASEADA NOS TEORES MÍNIMOS DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO

Júnior Henrique Milanesi

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: Prof. Dr. Luciano Zucuni Pes

Santa Maria, RS, Brasil

2015

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

Milanesi, Júnior Henrique
Adubação da cultura da soja baseada nos teores mínimos de fósforo e potássio no solo / Júnior Henrique Milanesi.- 2015.
73 p.; 30cm

Orientador: Luciano Zucuni Pes
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2015

1. Agricultura de precisão 2. Fertilidade do solo 3. Estiagem I. Pes, Luciano Zucuni II. Título.

© 2015

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

E-mail: juniorhmlanesi@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico da UFSM
Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA BASEADA NOS TEORES
MÍNIMOS DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO**

elaborado por
Júnior Henrique Milanesi

Como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Agricultura de Precisão.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

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

Jardes Bragagnolo, Dr. (URICER)

Santa Maria, 30 de janeiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais: Dércio Luis Milanesi e Jaqueline Maria Bulat Milanesi, por todo o amor, ensinamentos e dedicação destinados por toda a minha vida.

Agradeço a minha noiva Naiana Natasche Bär, pela ajuda, apoio e compreensão durante meu mestrado.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Luciano Zucuni Pes, pela orientação e auxílio em todas as minhas dúvidas e dificuldades encontradas durante o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço ao colega Francisco Giraldi, pela ajuda no trabalho de modelagem dos mapas.

A todos os professores da PPGAP, que participaram construindo o conhecimento, contribuindo assim com a minha formação.

A COTRISA por fornecer os dados utilizados no trabalho de pesquisa.

Agradeço também aos funcionários da Granja Milanesi, pelo excelente trabalho prestado durante a condução do experimento.

RESUMO

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

ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA BASEADA NOS TEORES MÍNIMOS DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO

AUTOR: JÚNIOR HENRIQUE MILANESI

ORIENTADOR: LUCIANO ZUCUNI PES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de janeiro de 2015.

A cultura da soja é de grande importância para a agricultura brasileira, garantindo uma inquestionável relevância do país, tanto como produtor, como exportador do grão. Neste contexto, apresenta-se a agricultura de precisão, tendo como principal premissa o manejo das variabilidades encontradas a campo. Esta busca pela eficiência resulta em melhores resultados de produtividade, através de uma nova estratégia de gestão agrícola. A análise de solo realizada na agricultura de precisão é georeferenciada, atribuindo seus resultados a um local específico da lavoura, o que permite a visualização da variabilidade dos atributos do solo através de mapas temáticos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade da cultura da soja, a partir da adubação a taxa fixa de um talhão agrícola, baseada nos valores mínimos encontrados para fósforo (P) e potássio (K) na análise de solo da camada 0 a 0,10 m de profundidade. Buscando-se uma produtividade de 3.000 kg ha⁻¹, a recomendação foi de 395 kg ha⁻¹ de adubo, na formulação 2-23-23. Foi gerado um mapa de produtividade e este foi comparado com os atributos químicos do solo. Os resultados indicaram uma amplitude de produtividade e a média geral bem abaixo da esperada. Estes resultados foram atribuídos às condições ambientais adversas (estresse hídrico e altas temperaturas), sofridas pela cultura.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Fertilidade do solo. Estiagem.

ABSTRACT

Master's Thesis
Graduate Studies Program of Precision Farming
Federal University of Santa Maria

SOYBEEN FERTILIZATION BASED ON MINIMUM LEVELS OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE SOIL

AUTHOR: JÚNIOR HENRIQUE MILANESI

ADVISOR: LUCIANO ZUCUNI PES

Local and Day of Defense: Santa Maria, January, 30th 2015.

The soybean crop is of great importance for Brazilian agriculture, ensuring unquestionable relevance of the country, both as a producer, as an exporter of the grain. In this context, shows the precision agriculture, the main premise the management of variability found in field. This search for efficiency results in better productivity results, through a new strategy of farm management. Soil analysis in precision agriculture is georeferenced, attributing results to a specific crop location, which allows viewing of the variability of soil attributes through thematic maps. This work aimed to evaluate the soybean yield from the fixed-rate fertilization of an agricultural field, based on the minimum values for phosphorus (P) and potassium (K) in the soil analysis of the layer 0-0,10 m deep. Seeking to productivity 3.000 kg ha⁻¹, the recommendation was 395 kg ha⁻¹ of fertilizer in the formulation 2-23-23. A yield map was generated and this was compared with the soil chemical properties. The results indicated a yield range and the overall average well below expectations. These results were attributed to adverse environmental conditions (water stress and high temperatures), suffered by culture.

Keywords: Precision agriculture. Soil fertility. Drought.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	HIPÓTESE	12
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
4.1	A Soja	13
4.1.1	Características morfológicas e ecofisiologia da soja	13
4.1.2	Estádios fenológicos da soja	14
4.1.3	Histórico e contextualização	15
4.1.4	Interferência de fatores bióticos.....	16
4.1.5	Interferência de fatores abióticos.....	17
4.1.5.1	Temperatura	17
4.1.5.2	Radiação solar.....	18
4.1.5.3	Fotoperíodo	19
4.1.5.4	Necessidades hídricas	19
4.1.6	Adubação da soja.....	21
4.1.6.1	Nitrogênio (N)	21
4.1.6.2	Fósforo (P).....	21
4.1.6.3	Potássio (K)	23
4.2	Agricultura de precisão.....	25
4.2.1	Histórico da agricultura de precisão e contextualização no Brasil	25
4.2.2	Conceituação.....	26
4.2.3	Etapas da agricultura de precisão para o manejo do solo	27
4.2.3.1	Coleta de dados	28
4.2.3.1.1	Dados de solo.....	28
4.2.3.1.2	Dados de produtividade.....	28
4.2.3.2	Interpretação dos dados	30
4.2.3.3	Aplicação diferenciada de insumos	30
4.2.3.3.1	Taxa variada de insumos	30
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
5.1	Histórico e descrição da área experimental.....	32
5.2	Adubação e semeadura	34
5.3	Colheita	35

5.4	Elaboração de mapas e tratamento de dados.....	36
5.5	Análise estatística	36
5.6	Acompanhamento e coleta das condições meteorológicas durante o período experimental	37
5.6.1	Análises das variáveis meteorológicas durante o período experimental	37
5.6.2	Pluviometria.....	38
5.6.3	Temperatura do ar	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.1	Análise dos atributos químicos do solo.....	44
6.2	Mapas de rendimento e definição de classes de produtividade	49
6.3	Correlação entre os atributos químicos do solo e a produtividade.....	52
7	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

A agricultura foi o primeiro passo das civilizações para a caminhada dos dias modernos, permitindo que as cidades se desenvolvessem, a partir da produção do campo. Tem-se hoje, mais do que a responsabilidade de alimentar um planeta faminto, a obrigação e o dever de se buscar aumentar a eficiência do campo, a fim de reduzir custos, aumentar lucratividade e impactar o mínimo possível o equilíbrio ambiental dos ecossistemas.

No Brasil, o carro chefe do agronegócio é a cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], por uma série de fatores, como boa adaptação, elevada produtividade e bons preços. A soja foi introduzida no país em 1882, impulsionando uma revolução no campo, com uma expectativa de área cultivada para 2014/2015 de 31.836,7 milhões de hectares (CONAB, 2014). Nos dias atuais, a cultura foi aperfeiçoada com o melhoramento genético, manejos e técnicas de produção inovadoras, sempre com o objetivo de driblar adversidades, focando em aumento de produtividade.

O sistema de plantio direto (SPD) na palha não é nenhuma novidade aos pesquisadores e produtores do Brasil. Técnicas como rotação de culturas, plantio direto na palha, adubação verde, rotação de princípios ativos de agroquímicos para evitar resistência de pragas e plantas daninhas, são fundamentais para bons resultados no campo.

Uma técnica moderna que existe quando se fala em eficiência no campo é a agricultura de precisão (AP). Mais do que o conceito de Manzatto et al. (1999), de aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, buscando a homogeneidade de glebas cada vez menores, a AP é uma estratégia de gestão das glebas de uma propriedade, que permite um maior conhecimento sobre as variabilidades existentes na lavoura (solo, planta e atmosfera) e como manejá-las, a fim de evitar desperdícios e aumentar lucratividade por hectare.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar a produtividade da cultura da soja, a partir da adubação, a taxa fixa de um talhão agrícola, baseada nos valores mínimos de fósforo (P) e potássio (K) encontrados nas análises de solo.

2.2 Objetivos específicos

- Observar a variabilidade espacial do rendimento da cultura da soja após a realização da adubação.
- Correlacionar os atributos químicos do solo e a produtividade da cultura da soja, após a realização da adubação.

3 HIPÓTESE

Realizando a adubação da área total, baseada nos teores mínimos de fósforo (P) e potássio (K) encontrados no solo, a variabilidade espacial da produtividade será baixa e a média geral da produtividade do talhão será alta.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A Soja

4.1.1 Características morfológicas e ecofisiologia da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta herbácea, dicotiledônea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae e gênero *Glycine*. Planta de característica anual, de porte ereto, pubescente, de tricomas brancos, pardos queimados (MÜLLER, 1981; SEDIYAMA et al., 1996; SEDIYAMA, 2009).

Durante o desenvolvimento da soja, a planta irá possuir três tipos distintos de folhas: os cotilédones, folhas simples e as folhas compostas. As folhas cotiledonares irão aparecer em estágios iniciais de emergência, e plântula, com a função específica de nutrir a planta na fase inicial. Posteriormente, as folhas simples aparecem, logo depois dos cotilédones e em sentido contrário ao primeiro nó. Por fim, as folhas compostas ou neste caso, trifolioladas. Estas são as principais folhas da soja e podem variar bastante, de acordo com o vigor e a genética da planta.

A raiz da soja é formada por uma raiz principal, chamada de pivotante, e raízes secundárias, com suas ramificações que absorvem água e nutrientes do solo. Após um intenso crescimento inicial, as raízes da soja se desenvolvem rapidamente até o fim do florescimento. Durante o enchimento de grãos, a raiz pivotante tem um crescimento menos acentuado. Agindo de forma contrária, as secundárias se ramificam ainda mais até a maturação fisiológica.

O crescimento da raiz depende de muitos fatores, como a genética da planta, atributos químicos e físicos do solo, população de plantas, competição com plantas daninhas, sanidade, umidade, etc. Em uma planta de desenvolvimento normal, a grande maioria das raízes se desenvolve nos primeiros 15 cm abaixo do solo, compreendendo, nesta faixa de profundidade, 40% da superfície radicular (RAPER; BARBER, 1970; MITCHELL; RUSSEL, 1971).

Outro processo importante que ocorre na parte radicular da soja é a infecção pela bactéria que pertence ao gênero *Bradyrhizobium*, resultando na fixação biológica de nitrogênio, através da associação simbiótica desta com a raiz da planta.

Após a infecção da raiz, as bactérias passam a consumir parte dos produtos resultante da fotossíntese da planta e, em troca, fixam o nitrogênio que a planta irá precisar para a síntese de suas proteínas.

O caule apresenta hábito de crescimento ereto. Após os cotilédones, são formados os primeiros primórdios folhares e gemas axilares. Em todos os nós da planta existem uma folha e em suas axilas a presença de gema lateral, que dependendo da genética, da população (sombreamento), do vigor e de outros fatores, pode gerar ramificações.

Uma característica interessante é o desenvolvimento do final do caule, relacionado com o tipo de crescimento da planta. Plantas de hábito de crescimento determinado possuem inflorescências nos ápices apicais de desenvolvimento. Já as de hábito de crescimento indeterminado seguem crescendo mesmo após a floração.

A floração ocorre em decorrência da redução do comprimento dos dias, quando a soja está com a altura de 38 a 46 cm. Por ser uma planta autógama, a fecundação da flor de uma planta de soja ocorre pelo pólen produzido por ela mesma, embora por ação do vento ou insetos, há reprodução alógama na escala inferior a 1%. Com o tamanho de 3 a 8 mm, as flores podem também apresentar cores roxeadas ou brancas, podendo comportar até 35 flores em cada rácemo.

O tamanho do legume da soja varia de 2 a 7 cm, comportando até 5 sementes, sendo mais comum de 2 a 3. Possui forma ligeiramente arqueada, composto a partir de duas valvas e um carpelo simples. Gera sementes em sua maioria esverdeadas/amareladas, de formato oval ou elíptico.

4.1.2 Estádios fenológicos da soja

Para uma classificação correta dos estádios fenológicos da soja, deve-se utilizar uma metodologia que se aplique a todas as variedades de soja e que possa ser facilmente compreendida com elevado grau de exatidão. A descrição mais utilizada em todo o mundo é a de Fehr e Caviness (1977). Esta padronização é fundamental para tornar mais fácil a divulgação e entendimento de pesquisas, entre empresas privadas, produtores rurais, extensionistas e para o público em geral.

Esta classificação de Fehr e Caviness (1977) divide a cultura da soja em duas partes principais (Tabela 1), o estágio vegetativo (V) e estágio reprodutivo (R). O vegetativo subdivide-se em V1, V2, V3,..., Vn, onde V1 é o primeiro nó verdadeiro e

Vn o último nó. Existem também os estádios iniciais VE (emergência) e VC (estádio de cotilédone). O reprodutivo também se subdivide em mais partes, como R1 (início do florescimento), R2 (florescimento pleno), R3 (início da formação das vagens), R4 (vagens completamente desenvolvidas), R5 (início do enchimento de grãos), R6 (grão cheio), R7 (início da maturação) e R8 (maturação fisiológica).

Tabela 1. Estádios fenológicos da cultura da soja.

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE - Emergência	R1 - Início do florescimento
VC - Cotilédone	R2 - Pleno florescimento
V1 - Primeiro nó	R3 - Início da formação de vagens
V2 - Segundo nó	R4 - Plena formação de vagens
V3 - Terceiro nó	R5 - Início do enchimento das sementes
*	R6 - Pleno enchimento das sementes
*	R7 - Início da maturação
V(n) - enésimo nó	R8 - Plena maturação

Fonte: Tabela adaptada de Fehr e Caviness (1977).

4.1.3 Histórico e contextualização

No ano de 2015 a soja completará 133 anos no Brasil. Porém, suas origens recorrem há muito tempo atrás. O cultivo da soja é muito antigo, sendo que relatos revelam plantios que datam cerca de 2800 anos a. C., na China (CISOJA, 2011). Comparada por muitos à introdução da cana-de-açúcar no Brasil colônia, a soja foi responsável por uma verdadeira revolução socioeconômica e tecnológica em nosso país.

A soja possui uma relevante importância no contexto mundial, devido ao seu alto teor de proteína (40%) e óleo (20%) (SEDIYAMA, 2009). Os propósitos da soja abrangem uma vasta gama de opções que competem: a alimentação (humana e animal), uso industrial (matéria prima para cosméticos, tintas e plásticos), biodiesel e na área da saúde (antioxidante, reposição hormonal, etc.).

O progresso da soja repercute até hoje e os desafios também, com metas de produtividades cada vez mais ambiciosas. A cultura é constantemente estudada em centros de pesquisa e de campo, para ser cada vez mais compreendida e ter seus processos de produção melhorados.

No aspecto econômico, o Brasil se consolidou entre os 3 maiores produtores de soja mundiais, ficando atrás somente dos Estados Unidos e sendo seguido pela Argentina. Nas exportações do grão, o país lidera, sendo que, na safra 2012/13, foram exportados 39.200 milhões de toneladas (CONAB, 2013).

4.1.4 Interferência de fatores bióticos

O sistema de cultivo moderno para a cultura da soja busca o máximo de produtividade por unidade de área, sem que a população de plantas seja excessiva e cause efeitos de redução de produtividade. Porém, existe uma margem bem pequena para o número de plantas indesejáveis, as chamadas daninhas.

A soja pode sofrer significativas perdas de produtividade quando exposta a competição com plantas daninhas, pois a planta invasora compete pela luz solar, água e nutrientes, além de comprometer as operações mecanizadas na área e a qualidade do grão. Lorenzi (2000), afirma que os prejuízos devido à incidência de plantas daninhas na soja podem resultar em perdas de 30 a 40% dependendo da espécie de plantas daninhas, da intensidade da infestação, entre outros.

Para um controle efetivo de plantas invasoras, sem que haja perdas na cultura da soja, é necessário que a lavoura se estabeleça e ganhe vantagem, competindo com outras plantas invasoras que estão em estágios iniciais de desenvolvimento ou não permitindo que as mesmas germinem. Este período crítico para a prevenção da competição da soja com plantas daninhas é de aproximadamente 30 dias (MELO et al., 2001).

O controle de plantas daninhas pode ser alcançado mais eficientemente com o manejo integrado. Para Correia & Resende (2002), são recursos úteis, a rotação de culturas para reduzir o banco de sementes, utilização de sementes puras de patógenos, manejo da entressafra, evitando altas infestações, escolha de cultivares de soja e populações adequadas, rotação dos manejos químicos e biológicos, e plantio direto na palha, resultam ótimos quando associados uns aos outros.

Há uma grande gama de pragas na soja que podem causar severos prejuízos a cultura. Seus danos podem ser causados mesmo antes da planta germinar até o enchimento de grãos. O manejo integrado de pragas (que em muito se assemelha com o manejo integrado de plantas daninhas, porém com foco distinto), é o melhor conjunto de técnicas para combater este inimigo.

Para a tomada de decisão sobre o manejo de pragas é necessário muita atenção e observar com cuidado as lavouras. Na safra de 2013/14, com o surgimento de uma nova praga em nosso país, a *Helicoverpa armigera*, uma praga altamente prolífera e com grande potencial de perdas nas lavouras, os produtores e engenheiros agrônomos foram obrigados a seguir à risca o manejo integrado de pragas (MIP).

4.1.5 Interferência de fatores abióticos

Diversos fatores interferem no desenvolvimento da soja, como climáticos e edáficos. Estes fatores, relacionados com os ciclos das cultivares, permitem o Zoneamento Agroclimático da cultura, validado pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) e, posteriormente, adotado pelo Ministério da Agricultura (MAPA).

Muitos fatores agem de forma restritiva e até mesmo inibidora no desenvolvimento da cultura da soja. Temperatura, fotoperíodo, pluviosidade e tipo de solo são fatores importantes a serem avaliados para o cultivo da leguminosa.

4.1.5.1 Temperatura

A temperatura exerce importantes funções durante muitas etapas no desenvolvimento da soja, tanto no período vegetativo de crescimento e desenvolvimento, quanto no reprodutivo de floração e desenvolvimento de vagens.

A cultura da soja apresenta um bom desenvolvimento em temperaturas entre 20 a 30°C, tendo o melhor desempenho próximo a 30°C. Durante o plantio devem-se ter temperaturas médias do solo de 25°C, uma vez que temperaturas inferiores comprometem a germinação homogênea da lavoura (GIANLUPPI et al., 2009).

O cancro do calor é outro problema severo causado por elevadas temperaturas. Quando estas são iguais ou superiores a 35°C, incidindo diretamente sobre solos compactados, arenosos e sem palha como proteção, podem superaquecer o solo acima de 55°C, desnaturando a membrana das células das plântulas (estádio VE ou VC). Este tombamento ocorre no nível do solo, sem a presença de patógenos e tem como origem unicamente a ação da temperatura.

A planta de soja apresenta crescimento vegetativo medíocre ou até nulo quando exposto a temperaturas iguais ou menores a 10°C, inibindo inclusive a floração. Porém, acima de 40°C, os efeitos são adversos no crescimento, prejudiciais à floração, causando abortamento de vagens (EMBRAPA, 2011). Para que ocorra a indução floral, a temperatura das folhas deve estar entre 21 e 27°C à noite. Superando os 27°C, há pouca diferenciação floral (PARKER e BORTHWICK, 1943).

Um importante componente de rendimento para a soja é o número de vagens por planta, também muito sensível às altas temperaturas, assim como o número de sementes por vagem e peso de grãos. Estes componentes são afetados quando a planta entra em estresse térmico, resultando em perdas de produtividade.

4.1.5.2 Radiação solar

A radiação solar está diretamente relacionada com o crescimento e desenvolvimento da planta de soja, atuando especificamente na fotossíntese, alongação de haste principal e ramificações, desenvolvimento de folhas, pegamento de vagens e grãos e fixação biológica de nitrogênio (CÂMARA et al., 2000).

A soja, por ser uma planta de características C3 (o produto originado da reação fotossintética é uma molécula com três carbonos), apresentam certas limitações quanto à intensidade de radiação, quando comparadas com plantas de característica C4 (o produto originado da reação fotossintética é uma molécula com quatro carbonos), sendo estas mais adaptadas à elevadas exposições de radiação solar.

A ineficiência das plantas C3 como a soja resulta em um grau de compensação elevado, o que significa dizer que ela precisa de muita luz para poder produzir os fotoassimilados necessários para suprir sua respiração. Se a quantidade de luz ficar abaixo do ponto de compensação, a planta consome mais carbono do que consegue retirar da atmosfera, como consequência tem perda na matéria seca. (ROSOLEM, 2006). Escolher variedades com uma arquitetura de planta eficiente, cuidados na população de plantas e correto zoneamento são indispensáveis para a correta utilização da luz.

O excesso de radiação absorvido em plantas de soja, aliado com a situação normal de altas temperaturas na época de desenvolvimento da cultura, resulta em

uma intensificação na respiração. Quando há muita respiração e este fluxo supera o fluxo hídrico da folha, ocorre o fechamento de estômatos, com o objetivo de evitar o estresse hídrico, o que caracteriza um efeito negativo da radiação na transpiração e na fotossíntese (ANDRIOLO, 1999; TAIZ e ZIEGER, 2004).

4.1.5.3 Fotoperíodo

A duração dos dias interfere diretamente no desenvolvimento da soja. Dias mais curtos, onde as horas de luz são inferiores a um determinado valor, resultam em um fotoperíodo crítico e levam a planta ao florescimento. Para Rangel (2006), este valor de período de luz deve ser inferior a 13 horas, porém não deve ultrapassar a 16 horas, com o efeito de inibir tanto a floração quanto a frutificação (MARION, 2004). Estes valores de horas de luz podem não ser representativos para todas as cultivares, tendo como objetivo abranger uma visão generalizada para a soja.

Existem variações entre as cultivares de soja e o seu grau de estímulo ao tempo de exposição à luz em determinada localização geográfica, resultantes da variabilidade genética alcançados por trabalhos de melhoramento. Por isto, este limite de 13 horas/luz/dia pode ser alterado.

O ciclo das cultivares é o resultado das diferenças genéticas das mesmas e a sua relação com o fotoperíodo de um determinado local onde estas são cultivadas. Desta maneira é possível termos uma mesma cultivar com ciclos distintos, determinados pelo local onde são cultivadas, tendo suas épocas de floração determinadas por modelos matemáticos com precisão acurada.

A previsão da data de floração e demais estádios de desenvolvimento da soja são fundamentais para a determinação da melhor época para realizarmos os tratamentos culturais e com o melhor resultado de produtividade.

4.1.5.4 Necessidades hídricas

A planta de soja possui 90% de seu peso formado de água, cuja importância é fundamental para processos fisiológicos e bioquímicos, sendo indispensável para o pleno desenvolvimento da cultura. Para Franke (2000), a obtenção de

produtividade considerável na soja exige uma demanda hídrica entre 450 a 850 mm, considerando alterações climáticas que ocorram por todo o ciclo.

A água na planta atua em diversas funções como: solvente, meio de transporte, reagente, regulador térmico, manutenção na turgência, balanço energético, etc. Dada a importância vital de água para a soja, esta desenvolve raízes profundas que, por mais que sejam relativamente superficiais, podem absorver água a uma profundidade de 1,5 metros.

Estresses hídricos podem ocorrer durante o desenvolvimento vegetativo da soja, resultando em um retardo no crescimento, dificultando o estabelecimento da cultura. Entretanto, são dois os períodos mais críticos para a falta de água que resultam em perdas de produtividade: na germinação/emergência e na floração/enchimento de grãos (EMBRAPA, 2011; FARIAS et al., 2007).

Dois fatores são imprescindíveis para a determinação da demanda hídrica da cultura da soja: a evapotranspiração e o coeficiente da cultura (K_c). A evapotranspiração é a soma da quantidade de água que a planta transpira, mais a umidade que evapora, sendo diretamente influenciada pelas condições climáticas recorrentes no local. Já o coeficiente da cultura (K_c) é a razão entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_0), variando conforme o estágio fisiológico da planta.

Durante os estádios vegetativos da cultura da soja o K_c permanece baixo, variando entre 0,5 e 0,9. Porém, no início da fase reprodutiva, o K_c se eleva a 1,13, mantendo esta estabilidade até R4 e atinge a maturidade fisiológica com valores próximos de 0,68 (MARTORANO, 2007). Estes valores de K_c são importantes quando queremos saber quanto e quando a cultura necessita de água, auxiliando na tomada de decisão para épocas de plantio e manejos.

A soja, quando submetida ao estresse hídrico, desenvolve distúrbios fisiológicos, como a perda de flores e folhas, abortamento de legumes, fechamento de estômatos e enrolamento de folhas. Todas estas consequências da falta de água resultam em redução no rendimento de grãos (EMBRAPA, 1999).

4.1.6 Adubação da soja

4.1.6.1 Nitrogênio (N)

A soja obtém o nitrogênio necessário para o seu desenvolvimento através de diversas fontes segundo Crispino (2001): 1) o solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica; 2) fixação não-biológica, resultante de descargas elétricas, combustão e vulcanismo; 3) os fertilizantes nitrogenados; 4) fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N).

Este é o nutriente com maior demanda na cultura da soja, porém pouco ou nada dele necessita ser adicionado na adubação da cultura. A planta de soja realiza um processo denominado fixação biológica de nitrogênio (FBN), onde por meio de uma relação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, o N atmosférico é absorvido pelas raízes da planta. Porém estas bactérias devem ser inoculadas na semente de soja periodicamente.

Caso a soja não realizasse a FBN, Hungria (2001) estima que seriam necessários aproximadamente 240 kg ha⁻¹ de N para uma produtividade esperada de 3000 kg ha⁻¹ de grãos. Segundo a mesma autora, a FBN em ambientes favoráveis ao sistema simbiote tem revelado até 94% do N total requerido pela cultura, tornando-se desnecessária a reposição do nutriente nesses casos.

A questão do aporte de nitrogênio via adubação na cultura da soja é muito controversa tendo muitas questões a serem avaliadas. A principal é a elevada produtividade em áreas de irrigação.

Harper (1974) afirma que para um desenvolvimento satisfatório da cultura da soja apresentando produtividades iguais ou superiores a 3.770 kg ha⁻¹ sob irrigação, é necessário além do nitrogênio simbiótico bom suprimento do nutriente no solo.

A qualidade nutricional dos grãos de soja não é alterada significativamente com a adubação nitrogenada (MASCARENHAS et al., 1990).

4.1.6.2 Fósforo (P)

O fósforo é essencial para o pleno desenvolvimento da cultura da soja. Sua predominante função é no fornecimento de energia para as reações biossintéticas e metabolismo vegetal, sendo, responsável pela maioria das respostas significativas

no rendimento da cultura, implicando, conseqüentemente, em aumento do rendimento, através da sua utilização (KLIEMANN et al., 1997; ROSOLÉM e MARCELLO, 1998; SOUZA et al., 1999).

O fósforo é absorvido, predominantemente, na forma iônica, como H_2PO_4^- . O ácido fosfórico (H_3PO_4), forma, por dissociação, três espécies iônicas: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . A primeira é a forma predominante na faixa de pH 4,0 a 8,0, na qual se desenvolvem a maioria das plantas.

Por ser um nutriente móvel no floema, juntamente com o nitrogênio e o potássio, o P é o mais prontamente redistribuído, via floema, para outras partes da planta (SFREDO e BORKERT, 2004). De modo particular é translocado aos órgãos novos em crescimento, vegetativos ou reprodutivos, que agem como drenos do nutriente, tendo como fonte as folhas e partes mais velhas da própria planta.

Solos muito intemperizados possuem uma grande quantidade de óxidos presentes, tendo uma forte tendência de fixação do P no solo. O plantio direto na palha tem como importante consequência o aumento da matéria orgânica, segundo Gonçalves et al. (1985) esta é uma das principais características que influem na absorção de P pela planta, pois esta interage com os óxidos de Fe e Al impedindo temporariamente a fixação do fósforo.

Na forma mineral, o fósforo que é absorvido, rapidamente se incorpora aos compostos orgânicos, pois 80% são encontrados como fosfohexases e difosfato de uridina, logo após a absorção, a qual sofre forte influência da concentração de Mg^{+2} no meio, agindo de forma sinérgica (JACKSON e HAGEN, 1960).

Para uma correta estimativa do fósforo do solo é necessário um método que consiga representar com alto grau de exatidão os níveis do nutriente no solo. A rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina realizam com mais frequência dois métodos de extração, o Mehlich-1 e RTA, sendo o primeiro o principal. O Mehlich-1 extrai o fósforo através da dissolução ácida, sendo um método simples e barato.

Em solos mais intemperizados e texturais sob o SPD, o fósforo possui um comportamento bem definido no perfil do solo. Richter et al. (2011) observou um incremento da concentração superficial (0 a 10 cm) de fósforo e outros atributos do solo, assim como uma maior variabilidade destes em camadas subsuperficiais (0 a 20 cm). A diminuição dos teores de matéria orgânica e a elevação nos teores de

elementos tóxicos como ferro e alumínio reduzem a disponibilidade de P em profundidade.

A separação do fósforo em formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis, mesmo que essa subdivisão seja imprecisa, ajuda no entendimento da dinâmica da disponibilidade do fósforo (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2003; GATIBONI et al., 2007). Estas três formas encontradas do P no solo variam de acordo com a disponibilidade para a absorção do nutriente pelas plantas sendo a mais disponível nas formas lábeis e menos disponível nas formas não lábeis.

Os níveis de fósforo no solo são obtidos através da classificação textural de acordo com os níveis de argila encontrados, gerando 4 classes: classe 1 >60%; classe 2 de 41-60%; classe 3 de 21-40% e classe 4 de 0-20% de argila (COMISSÃO..., 2004). De acordo com a mesma fonte, temos os respectivos teores críticos para a classe 1 a 4 de: 6 mg dm^{-3} ; 9 mg dm^{-3} ; 12 mg dm^{-3} ; 21 mg dm^{-3} .

A adubação da soja quando os valores no solo são superiores ao valor crítico é desaconselhada, pois a resposta em produtividade será baixa ou nula (ANGHINONI, 1992; PAVINATO e CERETTA, 2004).

No caso da adubação ser realizada abaixo da recomendação indicada, parte do déficit de fósforo para o desenvolvimento da planta é obtida do próprio solo através do P de labilidade intermediária, sendo o solo neste caso fonte alternativa do nutriente (RHEINHEIMER e ANGHINONI, 2001; GATIBONI et al., 2007).

Quando os níveis de P no solo forem classificados como médio ou bom é recomendado a adubação de manutenção com quantidades de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 para cada tonelada de grãos desejada (COMISSÃO, 2004). Segundo a fonte anterior, para níveis baixos ou muito baixos de fósforo no solo deve-se optar por adubações de correção ou adubações de forma gradual, visando a recuperação do solo.

4.1.6.3 Potássio (K)

Depois do nitrogênio, o potássio é o segundo nutriente mais exigido e exportado pela soja. Ele é absorvido na forma de K^+ e, assim, é translocado via xilema, de onde passa rapidamente para o floema. Aproximadamente 70% do K total encontra-se na forma iônica, livre na célula, podendo ser retirado pela água. Os

demais 30% são absorvidos às proteínas, sendo gradativamente liberados, de acordo com o envelhecimento da planta.

Assim como o fósforo, o potássio dentro da planta é um nutriente que possui alta mobilidade intracelular, entre tecidos e por longas distâncias em uma planta, dirigindo-se de folhas e órgãos mais velhos para os mais novos ou para os frutos em desenvolvimento.

O potássio tem uma função interessante de diminuir expressivamente a incidência de doenças da soja. Segundo Cakmak (2005), o potássio tem atuação em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida das plantas. Além da produtividade, a suplementação adequada contribui no reforço estrutural, tornando mais difícil a penetração de patógenos e deixando a planta menos suscetível ao acamamento.

O K também controla a abertura e o fechamento dos estômatos nas células-guarda e a turgidez do tecido, criando condições favoráveis para as reações da fotossíntese e outros processos metabólicos (SFREDO e PANIZZI, 1990). Além disso, ele é um importante ativador enzimático, requerido por mais de 60 enzimas e muitas das vezes de forma insubstituível para suas ativações, como por exemplo, no desdobramento de açúcares e enzimas necessárias na síntese de amido e proteínas.

A baixa disponibilidade de K no solo pode resultar em perdas graduais de produtividade, ciclo após ciclo. Para Borkert (1994) a ausência de sintomas resulta na fome oculta, ou seja, há redução da taxa de crescimento da planta, com redução da produtividade da soja. Em casos agudos de deficiência é observado um mosqueamento dos folíolos, pois existe translocação do nutriente das folhas mais velhas para as folhas novas e brotações.

A remoção de K do solo pelas plantas age deslocando o equilíbrio da concentração do nutriente em solução e da fração trocável do solo, com consequente depleção de formas não-trocáveis de K (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013), resultando assim em um gradativo empobrecimento das reservas no solo.

Para a interpretação do potássio no solo (COMISSÃO..., 2004) é necessário classificar o solo de acordo com as classes de CTC a pH 7,0, sendo estas classes divididas em três de acordo com os valores, sendo elas: >15,0; 5,1-15,0; < ou igual a 5,0 (todas na unidade $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Os níveis críticos para cada uma dessas classes são respectivamente: 90 mg dm^{-3} ; 60 mg dm^{-3} ; 45 mg dm^{-3} .

A demanda desse nutriente pela cultura é de aproximadamente 38 kg de K_2O para cada tonelada de grãos, sendo que, desse total, 20 kg são exportados das lavouras pelos grãos (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013). Portanto no caso da escolha pela adubação de manutenção são recomendados 20 kg ha^{-1} de K_2O para cada tonelada de grãos desejada.

O potássio quando aplicado em grandes quantidades possui um efeito salino sobre as culturas. É recomendado para a cultura do milho e da soja a quantidade máxima de 80 kg ha^{-1} na linha e o restante em cobertura, fracionando as quantidades em distintas aplicações (COMISSÃO..., 2004).

4.2 Agricultura de precisão

4.2.1 Histórico da agricultura de precisão e contextualização no Brasil

O entendimento de zonas heterogêneas dentro das áreas, já era conhecido há muito tempo pelos agricultores. Porém, foi na década de 80 que esse conhecimento pode ser explorado, devido aos avanços tecnológicos.

Com o surgimento e aprimoramento do Global Position System (GPS), pela disponibilização de satélites para a localização exata de pontos no globo terrestre pelo sensoriamento remoto, obtendo informações em qualquer lugar do globo (MOLIN, 2002), e Sistema de Informações Geográficas (SIG), na forma de softwares ou hardwares, possibilitando trabalhar informações obtidas, abriram um novo leque de oportunidades para os pesquisadores (CÂMARA et al., 2001).

A fusão de práticas agrícolas convencionais com as recentes tecnologias resultou no desenvolvimento de técnicas como taxa variada de insumos, plantio preciso, mapas de solo, mapas de colheita, entre outras, que revolucionaram o cenário agrícola mundial.

Algumas tecnologias já se faziam presentes no Brasil na década de 90, porém foi nos anos 2000, com o Projeto Aquarius, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com a parceria de empresas privadas, que a AP tomou relevância nacional (SENAR, 2014). Através de pesquisas e divulgação de potencialidades, a AP conseguiu chamar a atenção de todos os segmentos do agronegócio.

O MAPA em um objetivo claro de promover e incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias e melhorar os resultados obtidos no campo criou, no ano de 2005, a Coordenação de Acompanhamento e Promoção da Tecnologia Agropecuária (CAPTA) (INAMASU et al., 2011). Segundo os mesmos autores, o Comitê Brasileiro de Agricultura de Precisão (CBAP), criado em 2007, foi oficializado pelo MAPA no final do ano de 2012, com o objetivo de resolver os principais problemas e limitações que travam o desenvolvimento da AP no Brasil.

4.2.2 Conceituação

Primeiramente, é necessária a compreensão de que existe uma grande variabilidade de fatores que interferem nas lavouras. Estas alterações ocorrem de modo espacial e temporal, com efeitos diretos e indiretos na produtividade. Caso essa variabilidade fosse desprezada, o conceito de AP perderia o significado e nunca teria evoluído (MULLA e SCHEPERS, 1997).

A AP é caracterizada por um conjunto de técnicas agrícolas, que através da identificação da variabilidade espacial e temporal, possibilita o manejo localizado de fatores bióticos e abióticos, em prol de maiores produtividades e uso mais racional de insumos. Os conceitos de que as lavouras não são homogêneas já existem há várias gerações, porém o que torna essa técnica realmente interessante é a utilização de tecnologias de ponta.

Para Dampney e Moore (1999) são três categorias que causam variabilidade: (i) fatores fixos, difíceis de serem alterados (textura e profundidade do solo); (ii) fatores persistentes, que podem ser alterados (características químicas e físicas do solo: pH, nutrientes, densidade global, etc.); (iii) fatores sazonais, alterações em curto espaço de tempo (clima e incidência de pragas e doenças).

Conhecendo as variáveis que interferem na produtividade das lavouras, podemos manejá-las da melhor forma. Por isso a AP é definida por Amado e Santi (2007), como um instrumento de gerenciamento agrícola, que parte do registro georeferenciado de informações de solo e de culturas, completando-se com intervenções de manejo localizado.

4.2.3 Etapas da agricultura de precisão para o manejo do solo

Assim como o ano agrícola que funciona de forma cíclica com o decorrer do tempo, a AP também o faz. Para Cruvinel e Neto (1999), três etapas¹ distintas se evidenciam: coleta de dados, interpretação dos dados e tomada de decisão na aplicação diferenciada de insumos.

O marco zero é a obtenção do maior número de dados possíveis sobre o talhão (Figura 1), como mapas de produtividade de anos anteriores, coleta de solo e informações adicionais com o produtor. Posteriormente, os dados são analisados e passam por um software, que auxilia nas recomendações para a correção da variabilidade. Finalizando o processo, as recomendações são passadas para os implementos agrícolas, onde constam as quantidades e os locais onde deve ser realizada a intervenção.

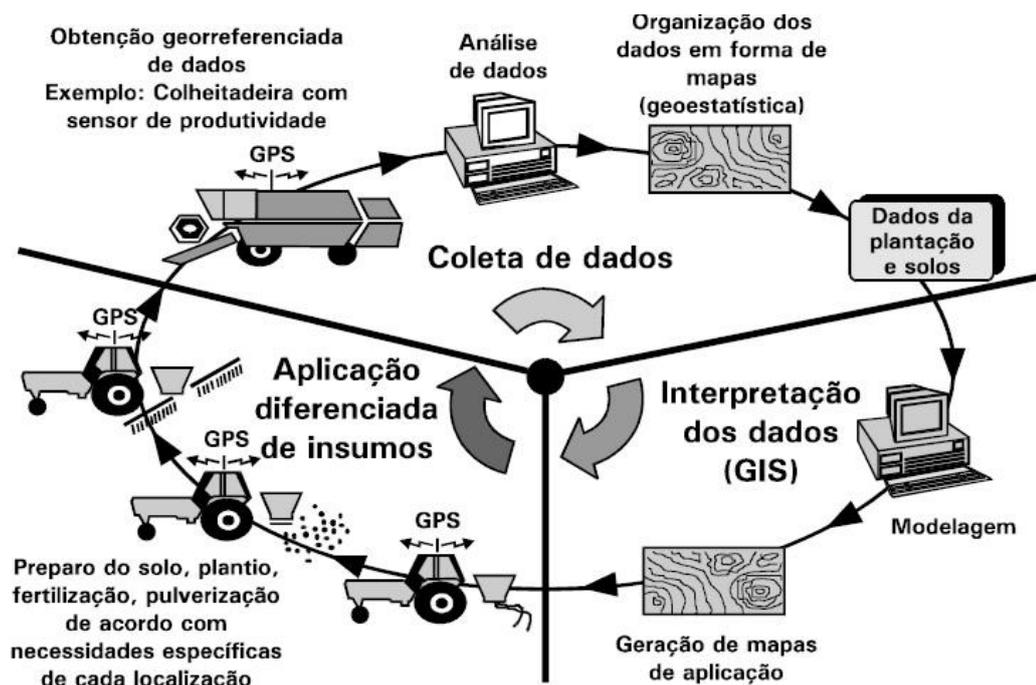


Figura 1. Etapas da agricultura de precisão.

Fonte: Cruvinel e Neto (1999).

¹ Todas as etapas da agricultura de precisão descritas neste trabalho terão o foco no manejo da adubação do solo, entretanto a AP possui mais itens a serem explorados, como por exemplo, rastreabilidade, eficiência, etc.

4.2.3.1 Coleta de dados

4.2.3.1.1 Dados de solo

A coleta e análise de solos são fundamentais para a AP. Adotada por muitos produtores e pesquisadores, pode ser considerada o ponto de partida para o conhecimento das variabilidades encontradas a campo. Proporciona, também, fundamentos para as tomadas de decisões que irão afetar diretamente a cultura implantada na área, sendo assim fundamental para a gestão das glebas.

A correta coleta das amostras é essencial para uma efetiva representação da lavoura e elaboração de um mapa preciso. Utilizando amostragens georeferenciadas é possível associar uma amostra a um determinado local na lavoura. Vários pontos formam o grid de amostragem, que posteriormente analisado, têm os valores representados graficamente através do mapa de solo.

Vários tamanhos de grids podem ser adotados a fim de quantificar assertivamente a variabilidade de uma área. Comercialmente são utilizados grids de 1 a 10 ha, dependendo da extensão da lavoura, qual atributo se deseja avaliar e oneração do serviço.

Uma série de fatores deve ser levada em consideração para uma coleta representativa, observando as seguintes situações: histórico da área, condições do solo para coleta, escolha da profundidade, tipo de análise, cuidar local da coleta (linha ou entrelinha de plantio) e respeitar o número de sub-amostras.

Muitas ferramentas podem ser utilizadas para a coleta do solo, como cavadeira, enxada, trado holandês, trado calador, trado de rosca, etc.

A recomendação é que estas operações sejam realizadas 6 meses antes do plantio, para que haja tempo hábil para a geração dos mapas e o produtor possa programar a compra dos insumos e a aplicação antes da implantação da cultura desejada.

4.2.3.1.2 Dados de produtividade

Outra fonte de informação importantíssima são os mapas de produtividade, pois a partir destes, podemos identificar as produtividades específicas de cada local

de uma lavoura. Para Molin (2002), mapas de produtividade são considerados como a alternativa mais completa para discriminar a variabilidade espacial das lavouras.

As produtividades observadas por consecutivas colheitas refletem a variabilidade encontrada no talhão. Para a obtenção de referências representativas, autores como Willis et al. (1999), Zhang et al. (1999), Dampney e Moore (1999), indicam a observação do histórico do desenvolvimento vegetal, de três a cinco anos anteriores, tanto de culturas de cobertura, quanto culturas econômicas nesta área.

Com a análise de consecutivos anos agrícolas, Amado (2007), atenta para o fato de que áreas sob plantio direto consolidado apresentam variabilidade com continuidade espacial de produtividade, demonstrando uma correlação entre as produtividades entre si, principalmente na cultura da soja.

Os mapas de produtividade são gerados através da medição das quantidades de grãos colhidas por unidade de área, em kg ha^{-1} ou sc ha^{-1} . Um GPS acoplado à máquina indica a localização no talhão, enquanto sensores quantificam o que entra na máquina durante a colheita, armazenando de 500 a 800 pontos por hectare.

Existem muitos métodos de se determinar a quantidade de grãos colhida, através de uma grande gama de sensores. Porém, independente de qual seja o sensor, eles geram erros e, por este motivo, devem ser calibrados.

Em seis anos de avaliações de cultivos, Moore (1998) identificou quatro tipos de erros: suavização, calibração de volume, largura incorreta da plataforma e tempo de enchimento da colhedora. Estes erros nas medições das quantidades são gerados por inúmeros fatores, como erros operacionais, falta de calibração, interferências de campo, etc. Foi avaliando diferentes culturas, colhedoras e monitores de colheita que Menegatti e Molin, (2003) propuseram um algoritmo para a redução dos erros que existem durante o mapeamento de produtividade.

A produtividade é o resultado dos acertos ou dos erros cometidos em uma área, atenuados ou agravados pelas variáveis encontradas a campo. A partir deste pensamento, os mapas de produtividade são provas reais de eficiência do manejo realizado, bem como oportunidade para análise e recomendações de possíveis manejos futuros, por isso a minimização dos erros nos mapas de colheita são tão importantes para balizar manejos futuros.

4.2.3.2 Interpretação dos dados

Na interpretação de dados, tendo por objetivo um bom material para análise, duas peças-chave se destacam na AP, que são o computador e o software. Os computadores evoluíram muito desde que se começou a falar em AP, tornaram-se muito úteis, podendo armazenar uma grande quantidade de dados e processá-los de forma ágil e precisa.

Os SIGs são softwares capazes de interpretar informações georeferenciadas obtidas a campo e trabalhá-las, gerando mapas e recomendações para as glebas. Em resumo, estes programas tornam mapas mais fáceis para se interpretar, simplificando a análise e possibilitando a tomada de decisão, montando o mapa de aplicação, aliando o conhecimento agrônomo com a tecnologia.

Quando mapas de rendimento são exportados dos monitores de rendimento das colheitadeiras e são visualizados na forma bruta, é possível ver as informações exatamente como foram coletadas a campo, de forma caótica e com grandes diferenças em intervalos muito curtos. A interpolação destes dados através do software ocorre com a utilização da geoestatística, que gera um mapa muito mais harmônico.

São muitos os programas que modelam dados presentes para o produtor adepto a AP, como o Apex da John Deere, o CR-Campeiro (GIOTTO et al., 2004), desenvolvido pelo setor de Geomática da UFSM, entre outros.

4.2.3.3 Aplicação diferenciada de insumos

4.2.3.3.1 Taxa variada de insumos

Manejar áreas heterogêneas, com aplicação diferenciada de insumos e tratos culturais, resume a busca da eficiência por tempo e dinheiro, em comparação com a adubação e a taxa fixa.

A aplicação à taxa variada de insumos na agricultura de precisão considera a variabilidade espacial desses atributos e prescreve a taxa de insumos de acordo com a necessidade específica de cada subárea (AMADO, 2014). Como resultado tem a economia de recursos, por meio da tecnologia e do conhecimento agrônomo.

Os mapas de aplicação feitos pelo SIG são passados ao computador do equipamento de aplicação de insumos. Toda a informação de quantidade e os locais onde devem ser aplicados os insumos acompanham a recomendação, garantindo que o objetivo seja alcançado.

O objetivo da aplicação diferenciada nem sempre gera redução de custos, embora os mesmos ocorram, mas sim numa aplicação mais racional. Benefícios ambientais, facilidade na gestão da propriedade, alcance de altas produtividades evitando desperdícios, são consequências de uma AP bem manejada.

Modernas tecnologias e recentes conceitos da agricultura de precisão tornaram-na peça chave para se obter bons resultados a campo. O uso racional de insumos e a facilidade de trabalhar as variáveis encontradas nas lavouras com a utilização de softwares, sensores, implementos, etc. instigaram a curiosidade do autor, motivando-o ao desenvolvimento deste trabalho.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Histórico e descrição da área experimental

A área experimental localiza-se no município de Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, nas proximidades do aeroporto da cidade. As coordenadas geográficas do local do experimento são 28°16'33.07" de latitude Sul e 54°09'55.89" de longitude Oeste, a altitude média de 319,60 m.

O local do experimento possui um relevo suavemente ondulado, com solo de textura argilosa a muito argilosa, profundo e de boa drenagem. De acordo com Embrapa (2006), o solo da área estudada classifica-se como Latossolo Vermelho Distroférico típico, pertencente à Unidade de Mapeamento Santo Ângelo.

A região apresenta o clima do tipo Cfa (Köppen) - subtropical, com precipitação anual média elevada de 1800 a 2000 mm anuais, distribuída irregularmente durante o ano, concentrando-se nos meses de inverno.

O histórico da área é bem antigo na família Milanesi, sendo adquirida no final da década de 70. O sistema de plantio direto na palha é um companheiro da família desde 1989, quando após muitos problemas e adaptações com maquinários, o sistema passou a ser uma rotina.

A introdução da AP como estratégia de gestão começou de uma forma tímida no ano 2000, com a parceria da empresa Serrana Fertilizantes, com os primeiros mapas de análise de solos. Posteriormente, alguns trabalhos foram realizados com a empresa Drakkar. Porém, só na safra 2013/2014, com a aquisição de uma colheitadeira com sensor de produtividade de grãos, que foi possível relacionar dados de solo com dados de produtividade.

A área do experimento é de 18,7 ha dos quais se utilizou 17,7 ha para as avaliações. Esta diferença deve-se à utilização de 1 ha desta área pela empresa multinacional Monsanto, que também realizou experimentos neste ano.

A rotação de culturas é intensa e bem variada, contemplando em todo o seu histórico as culturas de: soja, milho, trigo, feijão, aveia-preta, nabo, girassol, linhaça, canola e sorgo, predominando as culturas do milho e da soja (Tabela 2).

Tabela 2. Histórico dos cultivos na área experimental nos últimos quatro anos.

Ano agrícola	Inverno	Verão	
		Safra	Safrinha
2010/2011	Linhaça	Soja	
2011/2012	Nabo	Milho	Milho
2012/2013	Trigo	Soja	
2013/2014	Aveia	Soja*	

*Cultura alvo do estudo

As produtividades médias das culturas nesta área são consideradas boas e, segundo o produtor, o principal fator limitante é a falta de água, seguido de geada (no caso do milho). Na cultura do milho têm-se médias de produtividades de 7.200 kg ha⁻¹ e na soja, média de 3.000 kg ha⁻¹.

As ferramentas de AP utilizadas na área foram a obtenção de dados e posterior geração de mapas de atributos químicos do solo e de produtividade. A amostragem de solo, com a posterior geração do mapa de fertilidade foi realizada pela empresa Drakkar. Os resultados posteriormente foram analisados e serviram de subsídio para a tomada de decisão de manejo.

No primeiro cultivo na área experimental foi plantado aveia preta, no dia 22 de maio de 2013. A análise de solo ainda não havia sido realizada até a data do plantio da aveia, neste caso, foi consultado o produtor para uma estimativa dos teores de nutrientes no solo com finalidade de realizar a recomendação de adubação. Tanto os teores de P como os de K foram então classificados pelo produtor como altos, o que posteriormente foi confirmado observando os valores médios na análise de solo.

A aveia foi cortada como fonte de alimentação animal na metade do mês de agosto e após o rebrote dessecada para o plantio da cultura de soja alvo do experimento.

O plantio da soja foi realizado no dia 30 de novembro de 2013, em condições ideais de umidade do solo, não apresentando problemas na germinação e emergência da cultura. As aplicações de herbicidas, inseticidas e fungicidas foram realizadas de acordo com a necessidade de tais controles, levando sempre em consideração o custo benefício das aplicações e condições climáticas.

A cultivar de soja escolhida para o experimento foi a Nidera 5909, por quatro motivos: alta produtividade, adaptabilidade à região, resposta à adubação e

resistência a acamamento. O ciclo dela varia entre 110 e 135 dias, definido como ciclo 6.1 e as populações abrangem 280 a 340 mil plantas ha^{-1} .

5.2 Adubação e semeadura

A empresa Drakkar realizou o georeferenciamento da área e coleta de solo no dia 29/04/2013. O tamanho do grid de amostragem utilizado foi de 1 ha (100 x 100 m), em um total de 18 pontos (Figura 2), sendo a profundidade de solo coletada de 0-10 cm.

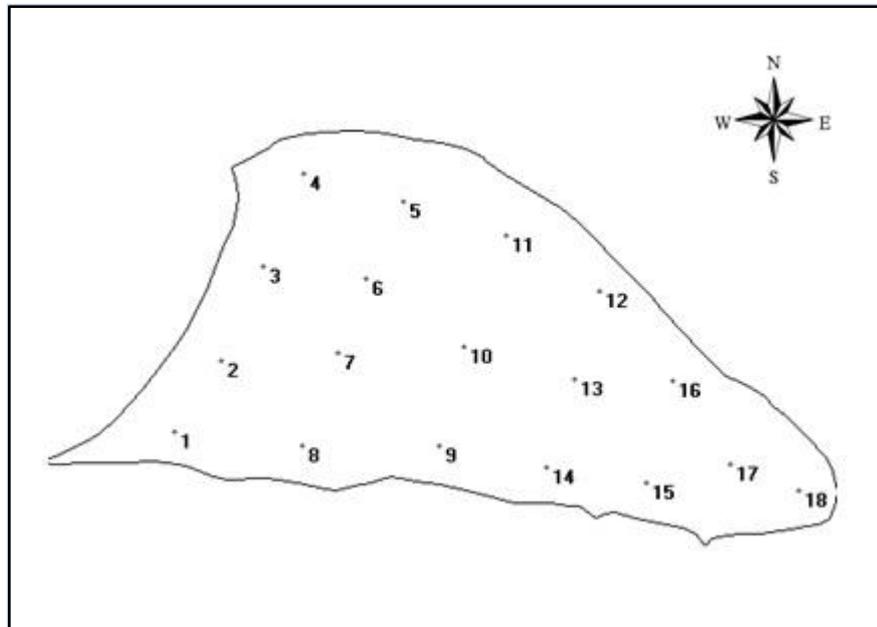


Figura 2. Grid de amostragem utilizado na coleta das amostras de solo, na área experimental.

A recomendação de adubação foi realizada baseada nos valores mínimos encontrados para P e K e objetivando uma produção de 3000 kg ha^{-1} de grãos de soja, conforme COMISSÃO..., (2004). Também foi observada a necessidade de ser compensada a extração do corte da aveia-preta (cultura anterior). Sendo assim, a adubação foi realizada a taxa uniforme durante o plantio, na dosagem de 395 kg. ha^{-1} da formulação 2-23-23 por hectare.

No dia 30 de novembro de 2013 foi realizada a semeadura dos 18 hectares do experimento (Figura 3). Três dias antes havia chovido aproximadamente 22 mm, proporcionando uma boa condição para a germinação da soja.

Foram utilizados dois conjuntos de tratores e semeadoras. O primeiro era composto por um trator MF 5320 (Massey Ferguson), com uma semeadora SSM 23 (Semeato). Já o segundo era composto por um trator MF 7140 (Massey Ferguson) com uma semeadora SSM 27 (Semeato). A regulagem das semeadoras foi realizada para a semente ficar a aproximadamente 3 cm de profundidade, o adubo a 7 e os sulcadores a aproximadamente 12 cm.



Figura 3. Semeadura da área experimental.

5.3 Colheita

A colheitadeira utilizada pelo produtor foi uma STS 9570 (John Deere), com plataforma de 25 pés. A máquina foi adquirida com o monitor GreenStar™ 2630; tendo o Harvest Monitor™ como monitor de colheita e o receptor StarFire™ 3000, todos da John Deere.

Antes de ser efetuada a colheita, foi contatada a assistência técnica da John Deere para realizar as calibrações e configurações necessárias da máquina, sensores e monitores. O erro da quantidade colhida pela máquina foi corrigido

através da pesagem do graneleiro cheio, comparando peso colhido de grãos da colheitadeira com o peso dos grãos na balança.

A colheita da área experimental ocorreu no dia 22 de março pela manhã, perdurando por aproximadamente 3 horas e 50 minutos. A umidade média de grãos ficou próxima a 12,5%, sendo posteriormente corrigida para a geração do mapa de produtividade no valor de 13%.

5.4 Elaboração de mapas e tratamento de dados

A geração dos mapas de produtividade foi confeccionada conforme metodologia proposta por Amado (2007). Onde foi feita uma grade de amostragem regular de 15x15m totalizando 785 quadrículas, para obter o valor médio de produtividade de cada quadrícula utilizou-se um raio de 20m.

A razão entre a produtividade da quadrícula e a média da produtividade da área foi calculada, e o resultado expresso em porcentagem. A interpolação dos dados de produtividade foi através do inverso do quadrado da distância com raio de busca de 20m.

Utilizou-se dois softwares para a confecção dos mapas temáticos, o CR Campeiro e o Apex. Com o CR-Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007) foi elaborado o mapa de distribuição horizontal dos pontos de colheita, mapa de produtividade e mapas de pontos coletados por classes de produtividade. Já com o Apex foi possível elaborar o mapa de umidade dos grãos colhidos e o de elevação.

Em ambos os softwares os dados sofreram correções das anomalias e discrepâncias quantitativas (filtragem de dados), conforme metodologia proposta por Menegatti e Molin, (2003), eliminando-as, reduzindo os erros e apresentando um mapa mais condizente com a realidade da lavoura.

5.5 Análise estatística

O mapa de produtividade da área foi confeccionado observando os seguintes critérios para divisão das classes de produtividade: classe de alta produtividade, locais com rendimento maior que 105% da média de produtividade; classe de média produtividade, locais com rendimento entre 95 e 105% da média de produtividade;

classe de baixa produtividade, locais com rendimento inferior a 95% da média de produtividade (MOLIN, 2002).

A análise de correlação foi utilizada para quantificar a influência dos atributos químicos do solo nas diferentes zonas de produtividade. Dois softwares foram utilizados para a análise estatística, o CR Campeiro 7 e o Excel 2010.

5.6 Acompanhamento e coleta das condições meteorológicas durante o período experimental

Os dados de temperatura utilizados neste trabalho foram obtidos pela estação meteorológica da COTRISA (Cooperativa Tritícola Regional Santo Ângelo), que monitora a temperatura três vezes ao dia, estando localizada a 7 km da área experimental. A partir dos três valores de temperatura foi calculada a temperatura média diária. Da mesma forma, as médias dos meses foram calculadas através da soma das temperaturas diárias e, posteriormente, dividindo-se pelo número de dias de observação do mês. Já a precipitação diária foi obtida com o auxílio de um pluviômetro instalado no local do experimento.

5.6.1 Análises das variáveis meteorológicas durante o período experimental

As variáveis meteorológicas afetaram significativamente sobre a cultura da soja, baseando-se na produtividade média obtida e nos sintomas observados a campo. Os principais indícios de danos causados por estresse hídrico foram: a perda de turgidez da planta, perda de folhas, abortamento de flores, legumes e grãos (Figura 4). Estes dois últimos com impactos diretos na produtividade da cultura.



Figura 4. Danos causados pelo estresse hídrico resultando em perda de folhas, flores e vagens de soja.

5.6.2 Pluviometria

A necessidade de chuva durante o ciclo da cultura da soja, conforme já foi mencionado (FRANKE, 2000), varia de 450 a 850mm, apresentando necessidades crescentes a partir do final do ciclo vegetativo. Os volumes obtidos no experimento (Figura 5) não foram suficientes para atingir as quantidades mínimas, não ultrapassando os 365mm.

Para Matzenauer et al. (2003), a concorrência de anos de deficiência hídrica é frequente no Rio Grande do Sul, prejudicando pelo menos 9 a cada 20 safras. O mesmo autor também recomenda o escalonamento do plantio da soja e épocas de plantio mais próximas do mês de dezembro, para tentar minimizar as perdas.

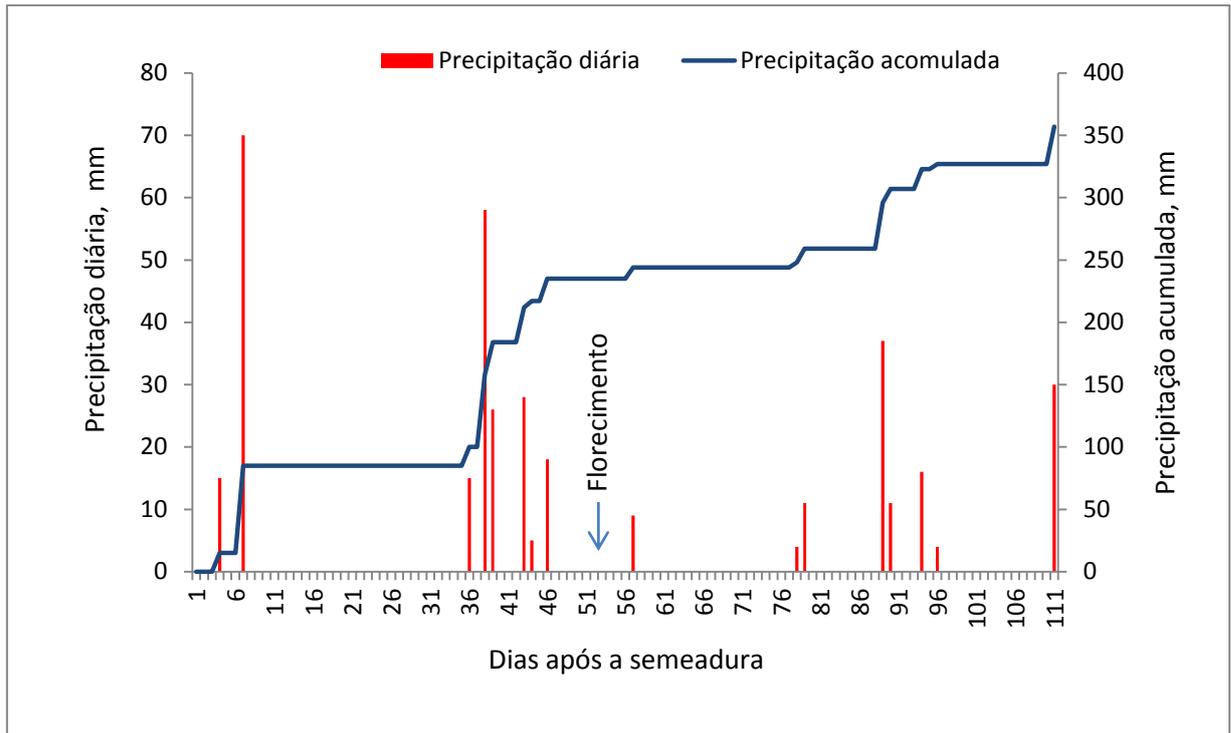


Figura 5. Precipitação diária e acumulada em decorrência dos dias após a semeadura na área experimental.

Com o início do período reprodutivo no dia 22 de janeiro de 2014, 53 dias após a semeadura, a soja entrou em seu período mais crítico para o déficit hídrico. É possível verificar que apenas 27% do total de chuvas ocorridas durante todo experimento, que já era baixo, aconteceram a partir do florescimento, gerando consequências severas à produtividade.

A ausência de precipitações ocorreu em dois intervalos significativos na área. O primeiro ocorreu do 6º ao 35º dia após a semeadura, não representando grandes perdas para a cultura, por ter sido prescindido de um dia com 70mm de chuva e estar no estágio vegetativo. O período mais crítico ocorreu durante os primeiros 34 dias do período reprodutivo (entre o 53º e 87º DAS). Neste intervalo ocorreram apenas três precipitações de chuva, todas elas de pouca representatividade.

Para a Embrapa (2011), do período de floração ao enchimento de grãos, a planta de soja necessita de 7 a 8mm de água por dia. Calculando-se a quantidade de $7\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ para os 57 dias de período reprodutivo do experimento, obtemos a quantidade total de 399mm. Os valores reais obtidos neste período no experimento foram de 92mm, resultando em um déficit de 307mm no estágio reprodutivo para o desenvolvimento do potencial máximo da cultura.

A ocorrência de um ano atípico fica evidente ao analisarmos os dados da média histórica de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obtidas através do site do CLIMATEMPO, para o município de Santo Ângelo, com os valores de precipitações obtidos no experimento. É possível observar (Figura 6) que os meses de dezembro, fevereiro e março ficaram muito abaixo da quantidade de chuva que era esperada para os mesmos períodos.

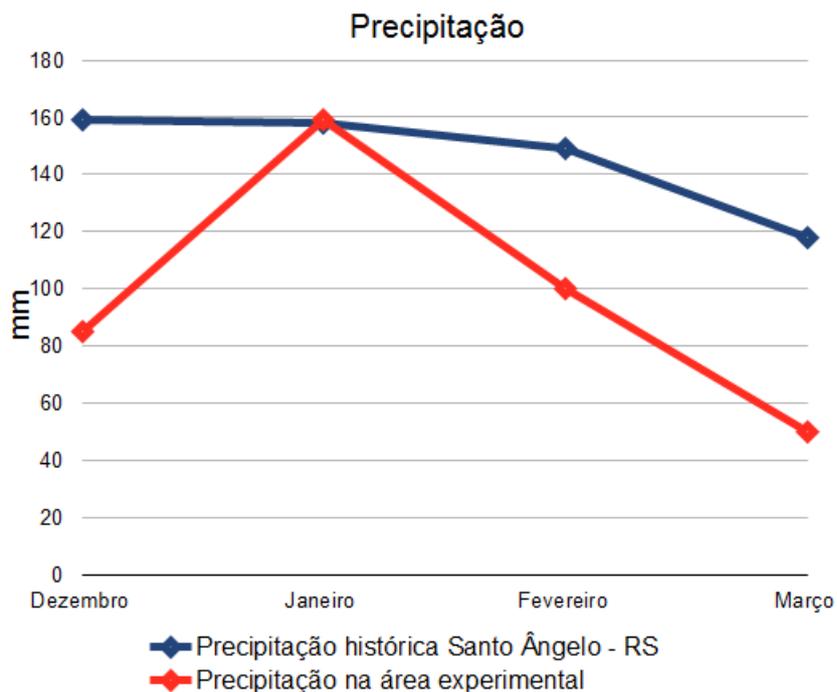


Figura 6. Média histórica de precipitação de Santo Ângelo e no período de experimento.

Fonte: Climatempo.

5.6.3 Temperatura do ar

As elevadas temperaturas também contribuíram para agravar a situação de déficit hídrico, interferindo na produtividade da lavoura. As médias diárias dos meses de novembro de 2013 a março de 2014 variaram de 16°C a 32°C (Anexos 3 ao 7).

Observa-se que a partir do mês de novembro de 2013 ocorreu uma crescente elevação nas temperaturas médias diárias, assim como o gradativo aumento do número de dias por mês que atingiram temperaturas próximas a 34°C. Essas

elevações são esperadas para a época do ano, assim como o decréscimo das temperaturas e dias com médias altas a partir da metade de fevereiro.

Há uma relação entre chuva e queda repentina de temperatura. A principal explicação para tal fato é a chegada de uma frente fria que conflita com elevadas temperaturas e resulta na condensação da água que precipita na forma de chuva. A alta nebulosidade impede parcialmente a incidência de radiação solar, reduzindo o aquecimento da superfície da terra.

Sendo assim, o contrário também ocorre. Dias ensolarados tendem a manter elevadas temperaturas médias diárias, seguindo a tendência de que quanto mais seco, mais quente.

Comparando as médias diárias observadas no experimento com as temperaturas máximas históricas e temperaturas mínimas históricas, podem-se perceber claras evidências de que as temperaturas tenderam muito mais a média superior do que a média inferior, como apresentado na Figura 7.

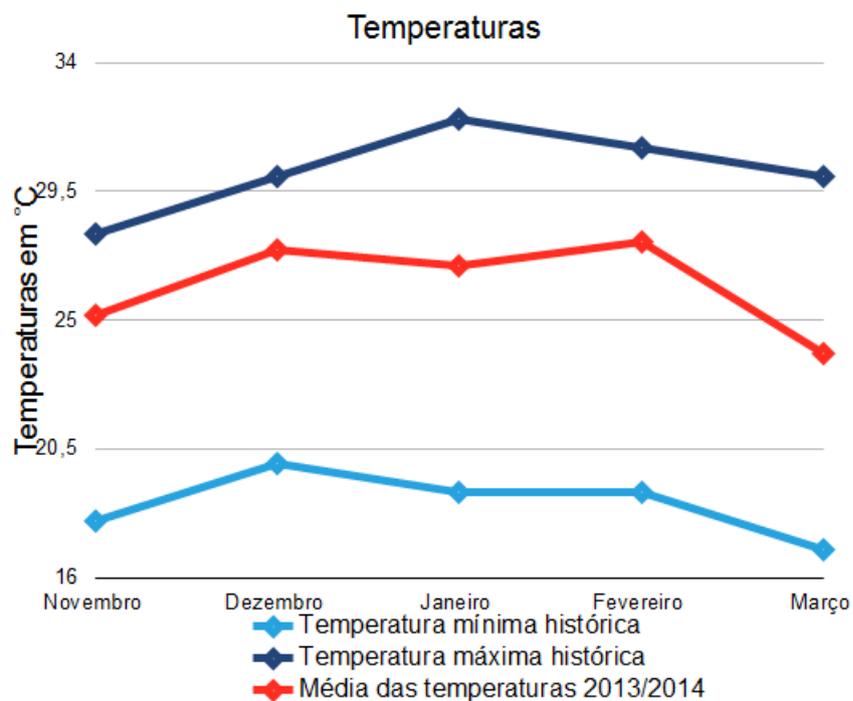


Figura 7. Relação das temperaturas máximas e mínimas históricas com as temperaturas médias do experimento.

Fonte: Climatempo.

Analisando as temperaturas mínimas obtidas e comparando-as com as temperaturas mínimas históricas (Figura 8), é possível observar que não foi um ano frio. A diferença entre as temperaturas foi de pelo menos 1°C acima da média histórica.

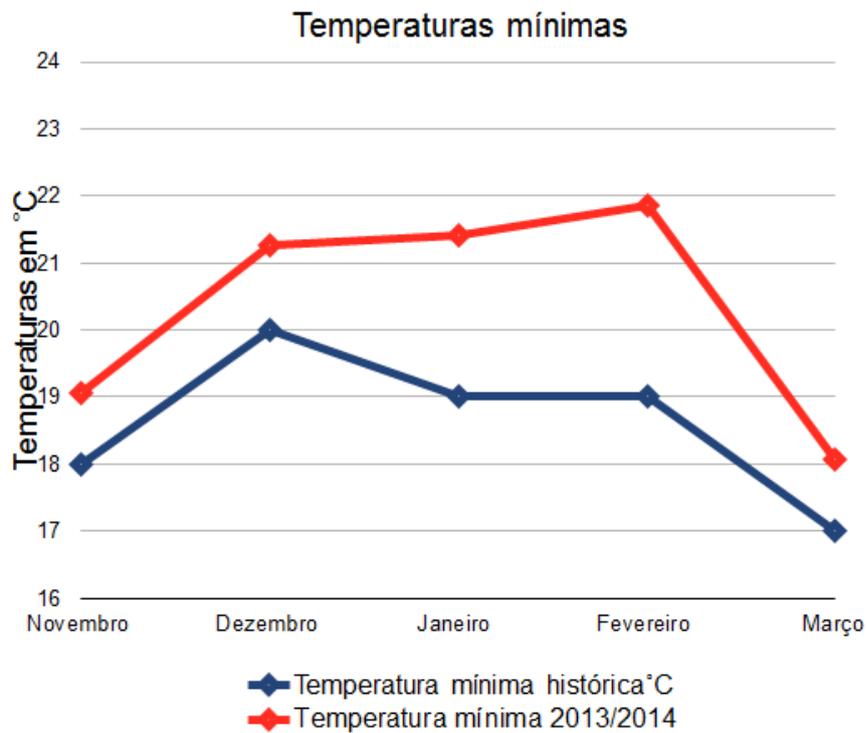


Figura 8. Relação entre as temperaturas mínimas históricas com as temperaturas mínimas ocorridas durante o período experimental.

Fonte: Climatempo.

Por sua vez, ao se analisar as temperaturas máximas ocorridas durante o período experimental com as temperaturas máximas históricas (Figura 9), observa-se que em três meses as temperaturas máximas do experimento foram superiores: novembro, dezembro e fevereiro. Isto significa dizer que por um número maior de dias ocorreram temperaturas mais elevadas do que a média histórica.

Normalmente, os longos períodos sem chuva em Santo Ângelo são caracterizados pela ocorrência de vento sul, conhecido também como o “vento da miséria”. Estas correntes de ar frio e seco inibem a formação de nuvens decorrentes do choque das massas de ar quente e úmida.

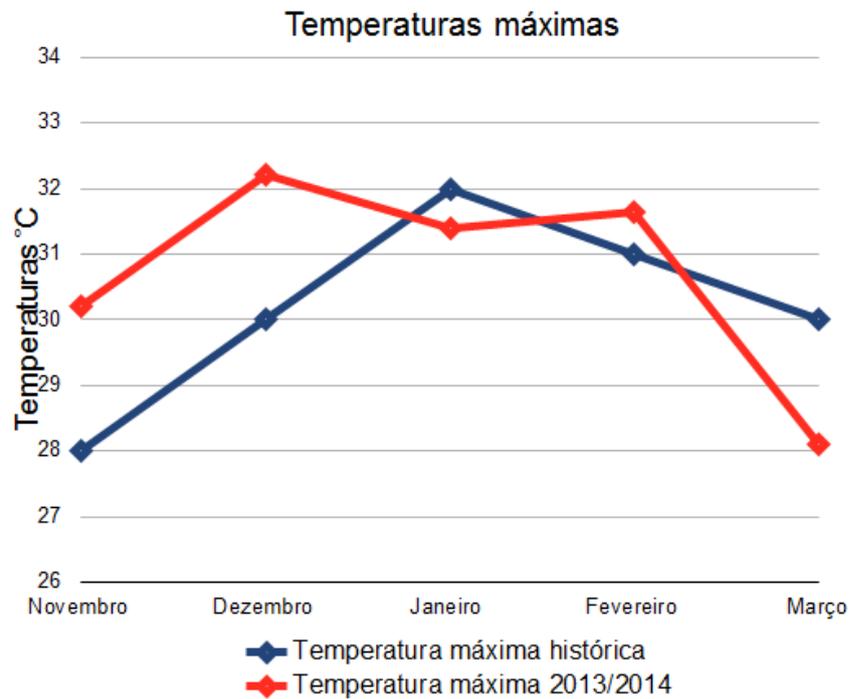


Figura 9. Relação entre as temperaturas máximas históricas com as temperaturas máximas ocorridas no período experimental.

Fonte: Climatempo.

As estiagens prolongadas ocorrem, na região, geralmente nos meses de fevereiro e março, período que coincide com o enchimento de grãos. Ventos frios vindos do sul mantêm as noites e manhãs mais frescas inibindo a formação de nebulosidade, conseqüentemente a ocorrência de chuva.

Nesse ano, foi observada a presença de uma bolha de ar quente e seco sobre o estado do Rio Grande do Sul (METSUL, 2014). Esse fenômeno evita a formação de nuvens, devido à presença do ar estático e seco. Isso resulta em baixas amplitudes térmicas e elevadas médias de temperatura desde o início da manhã. A soma desses fatores intensifica a evapotranspiração e gera uma demanda maior de água pelas culturas agrícolas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise dos atributos químicos do solo

Como já era esperado para o fósforo, a análise de solos do talhão encontrou valores que variam de 3 a 12 mg dm⁻³, resultando em um teor médio de 7 mg dm⁻³, o que pela tabela 5.3 (COMISSÃO..., 2004), enquadraria em teores altos de P. Essa amplitude demonstra o quão interessante é a realização das análises georreferenciadas, pois revela não apenas a disparidade das amostras como os locais onde se encontram (Figura 10).

Segundo a recomendação (COMISSÃO..., 2004) gramíneas de estação fria com teores classificados como altos de P e K no solo devem receber uma adubação de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O.

O valor mínimo encontrado de fósforo na área foi de 3mg dm⁻³, sendo este o critério para a determinação da adubação.

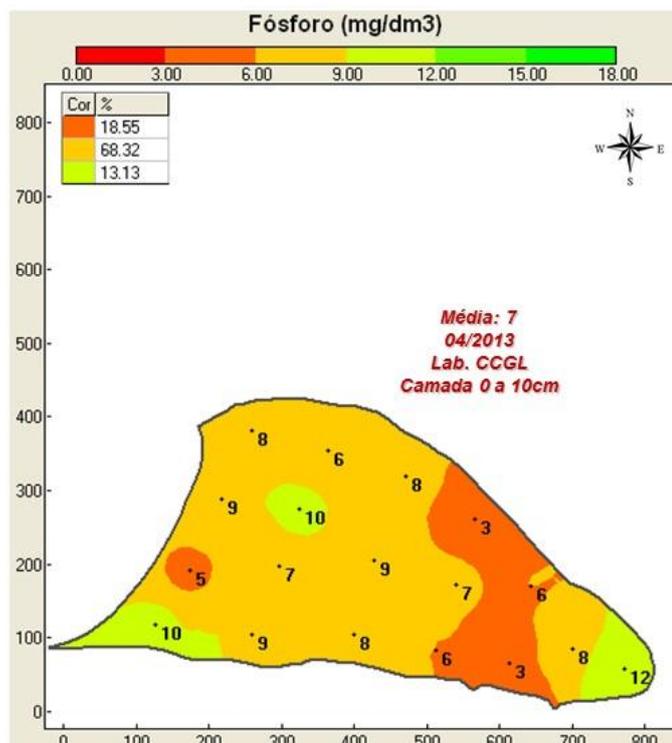


Figura 10. Distribuição espacial dos teores de fósforo da área experimental para a camada de 0 a 10 cm.

Este valor mínimo (3 mg dm^{-3}) foi comparado com a classe textura do solo. Todos os teores de argila encontrados na área são superiores a 60% (Figura 11). Por este motivo a classificação de argila desta gleba pertence à classe 1, resultando em uma interpretação do teor de fósforo como sendo baixo, (COMISSÃO..., 2004).

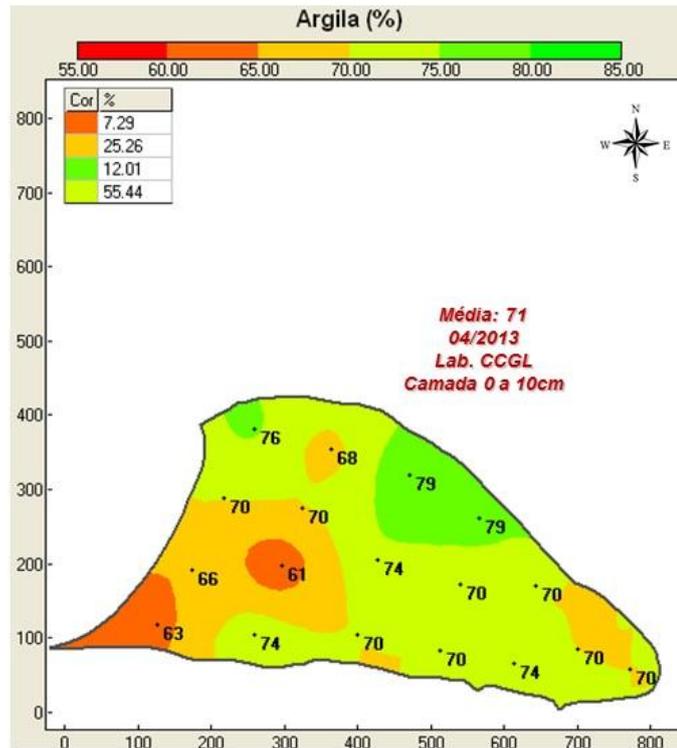


Figura 11. Distribuição espacial dos teores de argila da área experimental para a camada de 0 a 10 cm.

Observando-se a recomendação de adubação de P, conforme a Comissão... (2004), para a cultura da soja, os valores correspondentes para baixo teor de fósforo no solo são de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 , considerando como 2º cultivo. Foram adicionados mais 15 kg ha^{-1} de P_2O_5 , objetivando a produção de 3.000 kg ha^{-1} de soja e 25 kg ha^{-1} de P_2O_5 , em decorrência do corte da aveia-preta, como cultura antecessora. Visando adicionar 50% a mais da adubação de base da cultura sucessora (soja), a fim de compensar a extração da planta inteira pelo corte, conforme a recomendação.

Tabela 3. Faixas de interpretação dos teores fósforo no solo extraído pela solução de Mehlich-I, conforme o teor de argila.

Faixas de Interpretação	Fósforo Mehlich-I			
	Classe de solo conforme o teor de argila			
	1	2	3	4
	----- mg dm ⁻³ -----			
Muito Baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0
Baixo	2,1–4,0	3,1–6,0	4,1–8,0	7,1–14,0
Médio	4,1–6,0	6,1–9,0	8,1–12,0	14,1–21,0
Alto	6,1–12,0	9,1–18,0	12,1–24,0	21,1–42,0
Muito Alto	> 12,0	> 18,0	> 24,0	> 42,0

Adaptado de Comissão... (2004).

Para os níveis de potássio é possível visualizar na figura 12 valores que abrangem a amplitude de 48 a 179 mg dm⁻³, tendo como valor médio de 101 mg.dm⁻³.³ Para a interpretação dos teores de K foi utilizada a classe de CTC em pH 7,0 entre 5,1 e 15,0 cmol_c dm⁻³, partindo deste, o teor médio de potássio da área é caracterizado como alto.

O teor mínimo de K observado no mapa de distribuição espacial do nutriente foi de 48 mg dm⁻³ (Figura 12), resultando em um teor médio de K no solo (Tabela 4).

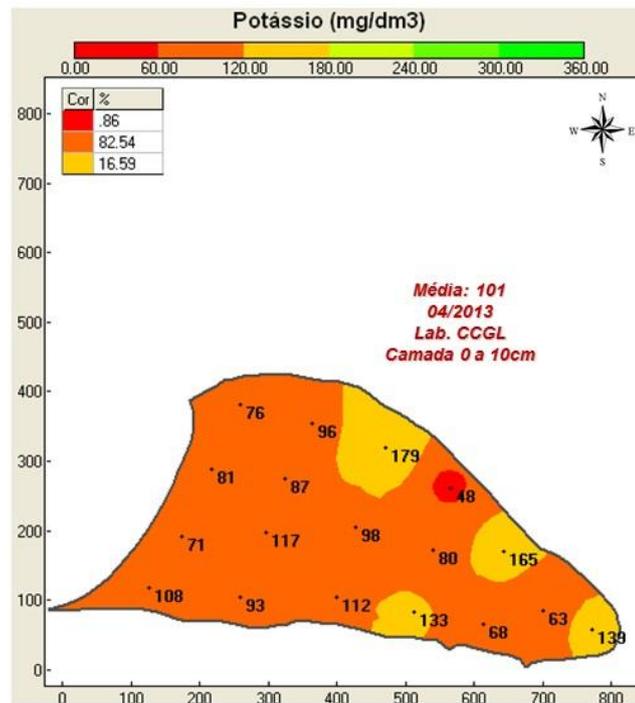


Figura 12. Distribuição espacial dos teores de potássio da área experimental para a camada de 0 a 10 cm.

Tabela 4. Faixas de interpretação dos teores de potássio em função das classes de CTC do solo a pH 7,0.

Faixas de Interpretação	CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)		
	≤ 5,0	5,1 – 15,0	> 15,0
	----- Teor de Potássio (mg dm ⁻³)-----		
Muito Baixo	≤ 15	≤ 20	≤ 30
Baixo	16 – 30	21 – 40	31 – 60
Médio	31 – 45	41 – 60	61 – 90
Alto	46 – 90	61 – 120	91 – 180
Muito Alto	> 90	> 120	> 180

Adaptado de Comissão... (2004).

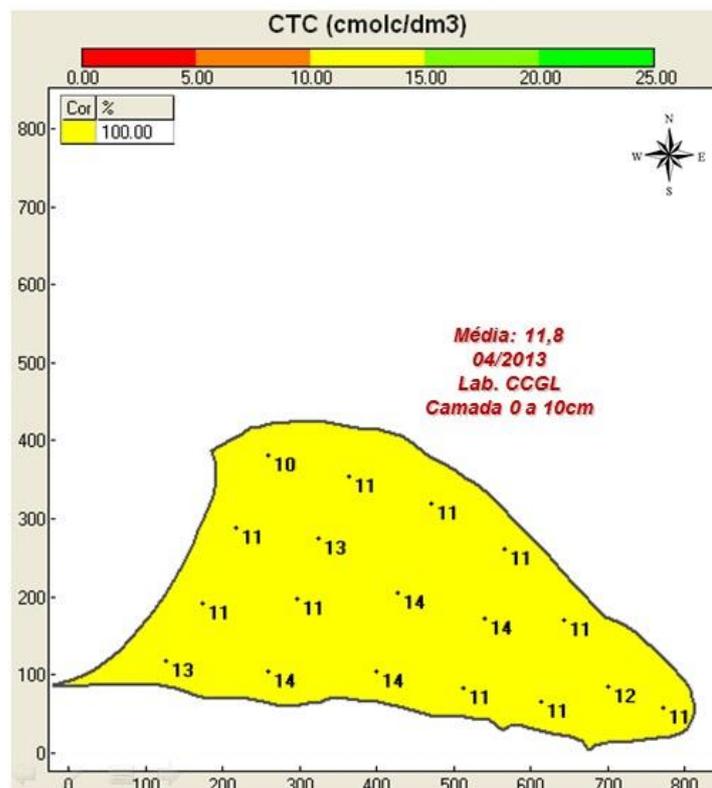


Figura 13. Distribuição espacial da CTC pH 7,0 da área experimental para a camada de 0 a 10 cm.

Observando-se a recomendação de adubação de K, conforme a Comissão... (2004), para a cultura da soja, os valores correspondentes para médio teor de K no solo são de 45 kg ha⁻¹ de K₂O, considerando como 2º cultivo. Foram adicionados mais 25 kg ha⁻¹ de K₂O, objetivando a produtividade de 3.000 kg ha⁻¹ de soja e 22 kg ha⁻¹ de K₂O, em decorrência do corte da aveia-preta, como cultura antecessora. Visando adicionar 50% a mais da adubação de base da cultura sucessora (soja), a

fim de compensar a extração da planta inteira de aveia pelo corte, conforme a recomendação.

A partir das quantidades de P e K indicadas para os teores dos nutrientes presentes no solo e a expectativa de produtividade de 3000 kg ha⁻¹ de grãos, foi escolhida a formulação 2-23-23, na dosagem de 395 kg ha⁻¹ distribuída de forma uniforme na área no momento da semeadura da cultura da soja.

A correção da acidez do solo não foi realizada na ocasião do experimento, pois a média do pH encontrado na área foi de 5,4 (Figura 14), sendo este valor muito próximo ao ideal (5,5). De forma geral, foi observada baixa saturação por alumínio encontrada na área (Figura 15), com exceção do extremo oeste no mapa, onde encontramos valores de Al % iguais a 5 e 8. Neste ponto também encontramos o menor pH da área, equivalente a 5,0.

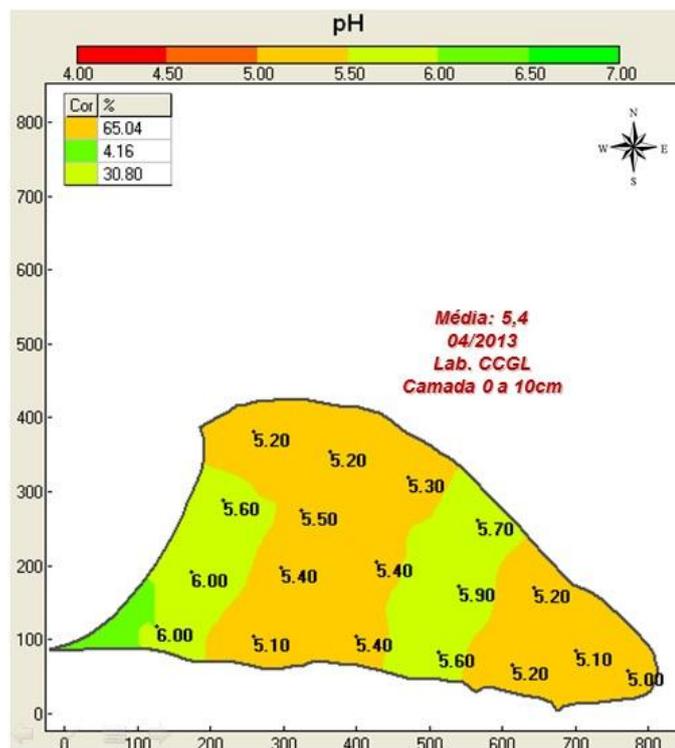


Figura 14. Distribuição espacial do pH do solo da área experimental na camada de 0 a 10 cm.

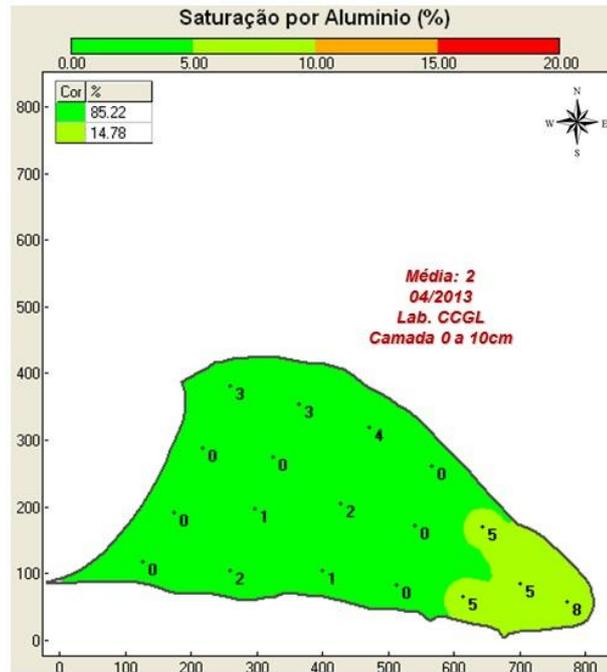


Figura 15. Distribuição espacial da saturação por alumínio do solo da área experimental na camada de 0 a 10 cm.

6.2 Mapas de rendimento e definição de classes de produtividade

Com o objetivo de gerar um mapa representativo, os dados de produtividade obtidos pelo sensor de rendimento passaram pela filtragem de dados de acordo com a metodologia proposta, como é possível ver na Tabela 5. Já na Tabela 6 observa-se a diferença dos dados após o tratamento das informações colhidas a campo.

Tabela 5. Síntese do processo de filtragem indicando o número e a porcentagem de pontos restantes.

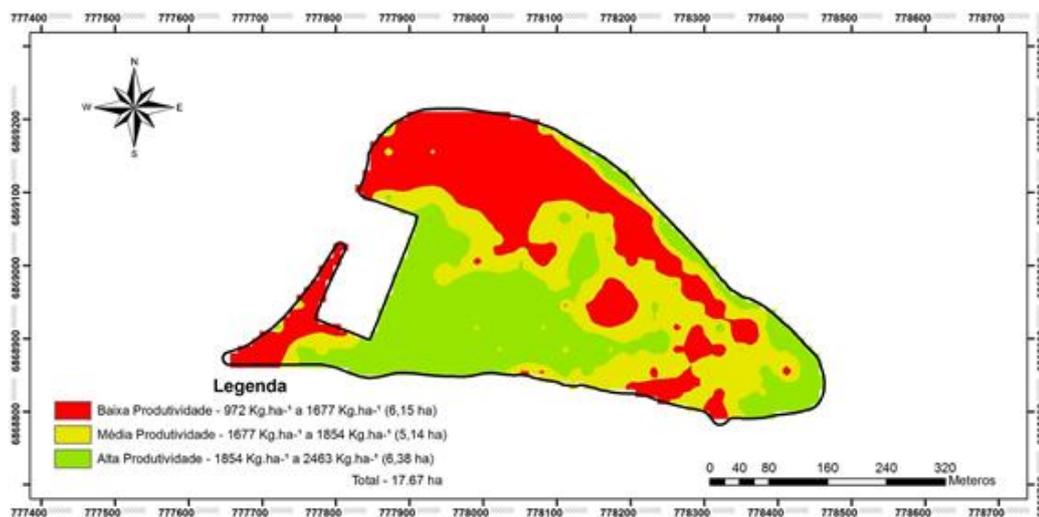
Filtro Aplicado	Pontos Restantes	%
Dados brutos	15830	100,00
Erros grosseiros de posicionamento	15830	100,00
Produtividade nula	13954	88,15
Interpretação de largura de plataforma	13766	86,96
Umidade nula	13540	85,53
Dados discrepantes	13486	85,19
Pontos Retirados (%)		14,81

Tabela 6. Dados de produtividade obtidos do campo.

Análise dos dados	Dados brutos	Dados filtrados
Média (kg)	1538,67	1764,57
Desvio Padrão	758,57	454,00
CV(%)	49,30	25,73
Máximo (kg)	10570,04	2996,77
Quartil Superior (kg)	2025,77	2063,52
Mediana (kg)	1692,95	1782,23
Quartil Inferior (kg)	1246,06	1466,63
Mínimo (kg)	0	540,80

A produtividade média da área experimental foi de 1.764 kg ha^{-1} , muito aquém da média alcançada no estado do Rio Grande do Sul de 2.605 kg ha^{-1} e abaixo da média brasileira de 2.854 kg ha^{-1} (CONAB, 2014). Esta baixa produtividade representa a severidade dos efeitos das condições climáticas no local do experimento, uma vez que as médias históricas desta lavoura são de 3.000 kg ha^{-1} .

No mapa de produtividade (Figura 16) é possível ver os resultados do rendimento da soja no ano de 2014. Há existência de três classes de produtividade, seguindo a classificação de Molin (2002), sendo elas de: baixa produtividade, que vai de 972 kg ha^{-1} a 1677 kg ha^{-1} ; média produtividade, que vai de 1677 kg ha^{-1} a 1854 kg ha^{-1} e alta produtividade, que vai de 1854 kg ha^{-1} a 2463 kg ha^{-1} . Podemos observar a presença significativa de variabilidade de produtividade na área.

**Figura 16.** Mapa de produtividade da soja da área experimental.

Em decorrência das severas condições meteorológicas observadas durante o ciclo da soja do experimento, afirmamos que o mapa pouco condiz com a resposta esperada da adubação.

A classe de alta produtividade pertence historicamente aos locais com maior umidade do solo, influenciada em parte em decorrência ao relevo (Figura 16) que direciona o fluxo da água por gravidade, concentrando a umidade nas baixadas e locais planos nas lavouras.

Os teores de matéria orgânica mais elevados neste local (Anexo I) também podem ser um indicativo de um maior acúmulo de restos culturais, o que resultaria em uma série de benefícios, como: maior infiltração da água, redução da evaporação e termoregulação do solo (UNGERA et al. 1991).

A faixa de alta produtividade que se mantém a nordeste do mapa, faz divisa com uma área de mato e próximo a este ponto passa um riacho. Em decorrência disto, ocorre uma acentuada retenção de umidade, servindo de suporte hídrico e o sombreamento da mata ameniza as temperaturas neste local.

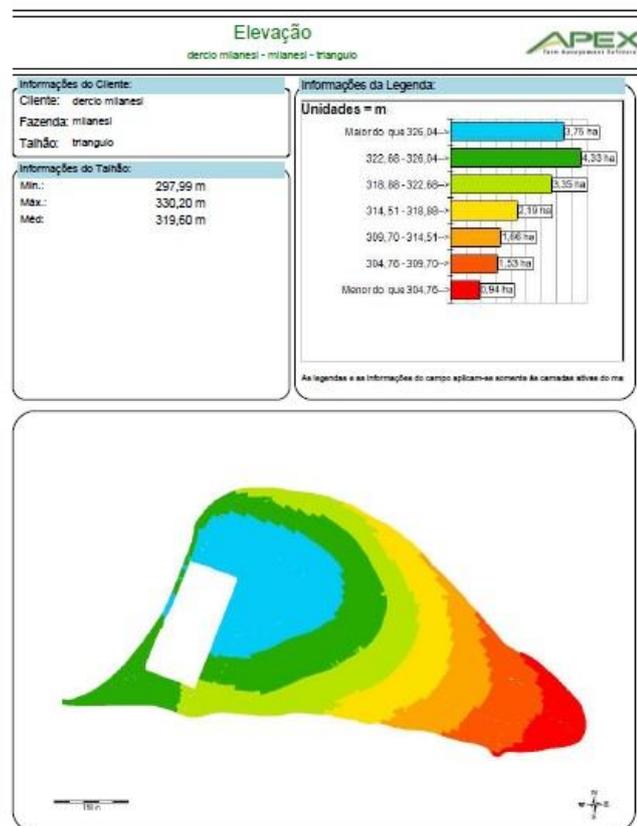


Figura 17. Mapa de relevo da área experimental.

Observando agora a zona de baixa produtividade, localizada na parte superior do mapa, pode-se atribuir este resultado provavelmente a compactação do solo devido ao tráfego de implementos agrícolas e teores de argila. Para Way et al. (1995) ocorre um aumento significativo da densidade do solo abaixo da linha de tráfego, sendo esse aumento maior com a intensificação do tráfego. Como resultado da compactação a disponibilidade de água e nutrientes é afetada de forma deletéria pela alteração da estrutura do solo, tendo como efeito a redução da produtividade (WIERMANN et al., 1999).

6.3 Correlação entre os atributos químicos do solo e a produtividade

Para obtenção da produtividade dos pontos onde foram coletadas as amostras de solo (Figura 17) realizou-se uma sobreposição entre o mapa de classes de produtividade, a grade de células da produtividade média e a grade de amostragem de solo. Dessa forma escolheram-se, de forma visual, quatro pontos de amostra de solo que estivessem dentro da classe de manejo utilizando o valor de produtividade do ponto mais próximo ao ponto escolhido.

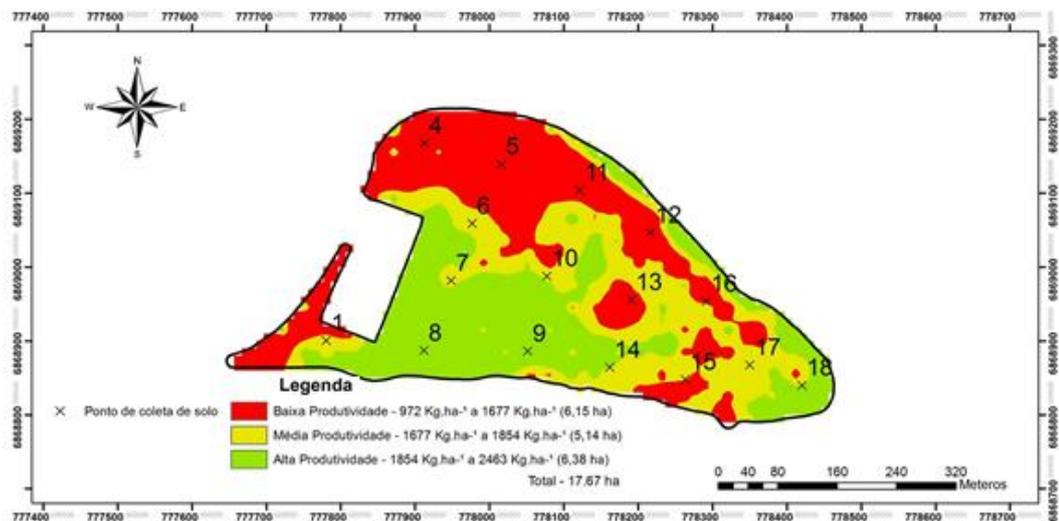


Figura 17. Localização dos pontos de coleta de amostras de solo no mapa de produtividade da área experimental.

As correlações entre os atributos químicos do solo e a produtividade da soja do ano agrícola 2013/2014 são apresentadas na Tabela 7.

Muitos atributos químicos presentes no solo interferem de uma maneira ou outra no desenvolvimento e/ou na produtividade da cultura da soja. Segundo Coelho (2003), o critério para as correlações serem significativas para 4 pontos é que estas sejam maiores que 0,95 ou menores que -0,95.

Tabela 7. Análise dos atributos químicos do solo e sua correlação (r) com a produtividade.

Classes de produtividade	Ponto amostral	Produtividade kg ha ⁻¹	Parâmetros químicos do solo							
			Argila	pH	SMP	P	K	MO	Ca	Mg
Alta	8	1994,79	74,0	5,1	5,7	8,8	93,0	3,2	4,7	2,5
Produtividade										
Alta	9	2108,36	70,0	5,4	6,0	8,1	112,0	3,6	6,1	3,0
Produtividade										
Alta	10	1883,57	74,0	5,4	5,7	9,3	98,0	2,9	4,5	2,8
Produtividade										
Alta	18	1697,58	70,0	5,0	5,7	11,9	139,0	3,0	3,1	1,7
Produtividade										
	Correlações		0,12	0,62	0,71	*-0,97	-0,64	0,81	*0,97	0,87
Media	1	1746,23	63,0	6,0	6,5	10,0	108,0	2,7	6,1	3,7
Produtividade										
Media	6	1850,83	70,0	5,5	6,0	10,1	87,0	3,1	6,0	2,5
Produtividade										
Media	7	1543,11	61,0	5,4	6,3	7,1	117,0	3,1	4,7	2,7
Produtividade										
Media	17	1602,85	70,0	5,1	5,9	8,2	63,0	3,5	4,8	2,6
Produtividade										
	Correlações		0,44	0,50	-0,04	*0,95	-0,10	-0,42	0,93	0,15
Baixa	4	1373,44	76,0	5,2	6,0	8,1	76,0	2,6	3,8	2,1
Produtividade										
Baixa	5	1482,77	68,0	5,2	6,0	6,1	96,0	2,8	3,4	2,5
Produtividade										
Baixa	11	1471,69	79,0	5,3	6,0	8,3	179,0	2,8	4,4	2,0
Produtividade										
Baixa	12	1548,23	79,0	5,7	6,2	3,0	48,0	2,0	4,9	2,3
Produtividade										
	Correlações		0,12	0,77	0,73	-0,81	-0,14	-0,54	0,58	0,44

*Correlações significativas

Tabela 8. Parâmetros estatísticos dos dados experimentais

Parâmetros estatísticos	Classe de Manejo		
	Alta	Média	Baixa
Média (kg)	1921,08	1685,76	1469,03
DP	174,99	139,20	72,12
CV (%)	9,11%	8,26%	4,91%

Nas classes de alta e média produtividades, o P teve correlações respectivamente de -0,97 e 0,95 ambas significativas. Estes resultados diferem dos esperados, pois a correlação deveria ser baixa nas regiões com elevado teor de fósforo no solo, e elevadas correlações nos locais mais deficientes do nutriente.

A restrição hídrica deste ano justifica os valores negativos, possivelmente agravados por outros fatores edafoclimáticos como compactação do solo, elevadas temperaturas. Porém, a correlação altamente significativa na classe de média produtividade pode indicar que a falta de água não foi limitante neste caso, além do fato de que a maioria dos menores teores de P esta na classe de média produtividade.

Diversos autores como Gatiboni (2003); Carneiro, (2011) e Rheinheimer e Anghinoni (2001), afirmam que em um sistema de plantio direto consolidado por um manejo correto de muitos anos, associado a solos com elevados teores de argila e MO, pode levar o solo a conter uma boa reserva de P. Esta reserva pode servir de fonte parcial das necessidades da cultura em casos de deficiência, conforme visto na revisão deste trabalho.

A elevada complexidade do P no solo o torna dependente de diversos fatores existentes na lavoura. Sua baixa mobilidade no solo pode gerar alta variabilidade em pequenas alterações espaciais, dificultando tanto o diagnóstico da sua deficiência, quanto a recomendação correta para a suplementação (SANTI et al., 2012).

O K não obteve correlações significativas em nenhuma das classes de produtividade. Na classe de alta produtividade, foi detectada correlação de -0,65. Nas classes de média e de baixa, apesar de negativas, a correlação foi bem baixa, tendendo à nulidade.

Mais uma vez é atribuída a falta de correlação dos teores de K com a produtividade à restrição hídrica e elevadas temperaturas ocorridas no período experimental. Entretanto, o K é responsável pelo fechamento e abertura estomática, visando reduzir a perda de água pela planta (SFREDO e PANIZZI, 1990). Não há

comprovações científicas de que a suplementação de K ajude a minimizar as perdas na produtividade em anos de restrição hídrica. Porém, acredita-se que na presença de teores satisfatórios, ele acelere a recuperação pós-estresse.

Um aspecto importante a ser esclarecido é que toda a adubação foi realizada no sulco de semeadura, sendo que a quantidade de K_2O não deveria ultrapassar 80 kg ha⁻¹ (COMISSÃO..., 2004). No entanto foram aplicados 90 kg. Apesar do eminente efeito salino, não foi constatada morte de plântula, nem danos visuais minimamente significativos.

Apesar de não ter sido realizada a aplicação de calcário na área, a correlação na classe de alta produtividade revelaram ser significativas entre o pH e a produtividade.

A correlação positiva dos teores de cálcio no solo com a produtividade pode ter ocasionado uma possível melhora no desenvolvimento radicular, por reduzir a acidez e diminuir a toxicidade do alumínio, cobre e manganês. Raízes mais desenvolvidas aumentam a sua capacidade de acesso à umidade retida no solo, evitando que a planta entre em estresse hídrico facilmente (KLEPKER e ANGHINONI, 1995; SCHERER et al., 2007).

A interpretação das correlações entre a adubação e a produtividade exige uma quantidade de ciclos de cultivos maiores a fim de que possa se ter uma real compreensão entre suas correlações. Fatores externos como condições meteorológicas, tratos culturais e características do solo podem interferir e alterar os resultados esperados.

7 CONCLUSÃO

A produtividade apresentou variabilidade espacial e a média geral da produtividade do talhão foi baixa, comparada com o potencial produtivo da área.

A correlação dos teores de fósforo e potássio com a produtividade, no geral, foi baixa.

As adversidades climáticas interferiram significativamente na produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 08, p. 1101-1110, 2007.

AMADO, T. J. C. **Aplicação à taxa Variável**. Out. 2014. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/projetoaquarius/index.php/pt/o-cilo/3-aplicacao-a-taxa-variavel>>. Acesso em 08 de dezembro de 2014.

AMADO, T. J. C., SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento de manejo de solo. In: FIORIN, J. E. (Ed.). **Manejo do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo, Berthier, p. 99-144, 2007.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria, Ed. da UFSM, 142p. 1999.

ANGHINONI, I. Uso do fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 349-353, 1992.

BERKER, C. M. Efeitos do calcário e do cloreto de potássio sobre a concentração de manganês e alumínio nos oxissolos. **Agronomia Sulriogradense**, v. 11, n. 1, p. 45-51, Porto Alegre: 1975.

BORKERT, C. M. Extração de Nutrientes pela Soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 14., 1986, Chapecó, **Ata...** Chapecó: EMPASCCPPP/ EMBRAPA-CNPSO, p. 164-165, 1986.

BORKERT, C. M.; YORINORI, J. T.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; SFREDO, G. J. Seja o doutor da sua soja. **Informações Agronômicas**, n. 66, 16 p. 1994.

CAKMAK, I. **Proteção de plantas contra os efeitos nocivos do estresse de fatores ambientais**. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2005.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J. C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE (on-line, 2. ed. rev. e ampl.), 2001.

CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). 2000. 450p.

CARNEIRO, L. F. **Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um Latossolo com diferentes históricos de uso**. Embrapa Milho e Sorgo- Artigo em periódico indexado (ALICE), 2011.

CISOJA - **Centro de Inteligência da soja**. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br>>. Acesso em 08 de Outubro de 2014.

CLIMATEMPO. **Climatologia Santo Ângelo - RS** <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/1412/santoangelo-rs>> Acesso em: 14/11/2014.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: Tópicos em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 3, p. 249, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 400p. 2004.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 - Safra 2013/14, n. 12 - Décimo Segundo Levantamento, set. 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_boletim_graos_setembro_2014.pdf> Acesso em: 5 de janeiro de 2015.

CONOB. **Perspectivas para a Agropecuária**. v. 1. Safra 2013/2014. AMAZONAS, L. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 7 de out. 2014.

CORREIA, N. M.; REZENDE, P. D. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura da soja**. Lavras: Editora UFLA. 2002.

CRISPINO, C. C.; FRANCHINI, J. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLE, R. N. R.; LOUREIRO, M. F.; SANTOS, E. N.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. **Adubação nitrogenada na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 6p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 75).

CRUVINEL, P. E.; NETO, A. T. **Agricultura de precisão: fundamentos, aplicações e perspectivas para a cultura do arroz**. NRC.1999.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research - based advice to farmers. In: International Conference on Precision Agriculture, 4.,1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, p. 661-674. 1999.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura de arroz irrigado (Oryza sativa)**. 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2007.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 306 p. 2006.

EMBRAPA SOJA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000. Londrina: Embrapa/CNPSo (Documentos, 132), 2226p. 1999.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil - 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n. 13), 262 p., 2008.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil - 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n.15), 262p. 2011.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Circular técnica, n. 48). Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/cirtec/circtec48.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2014.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 11 p. 1977.

FRANKE, A. E. Necessidade de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 35 n. 8 Brasília, Agosto. 2000.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas.** Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas, 2003. Tese de Doutorado, UFSM. Santa Maria: UFSM, 2003.

GATIBONI, L. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.

GIANLUPPI, V. **Cultivo de soja no cerrado de Roraima.** Sistema de Produção, Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/CultivodeSojanoCerradodeRoraima/clima.htm>. Acesso em: 10 set. 2014.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro. 7.** Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 319p. 2007.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 107-111, 1985.

HUNGRIA, M.; CAMPO, J. R.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja.** Londrina: EMBRAPA - CNPSo, p. 48, 2001.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. F.; JORGE, L. A. C.; BASSOI, L. H.; PEREZ, N. B.; FRAGALLE, E. P. **Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro.** In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação. p. 14-26, 2011.

JACKSON, P. C.; HAGEN, C. E. Products of orthophosphate absorption by barley roots. *Plant physiology* 35 (3): p. 326-332, 1960.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 395-401, 1995.

KLIEMANN, H. J.; COSTA, A. de V.; SILVA, F. C. da. Resposta à calagem e fosfatagem por três cultivos de soja em três solos no estado de Goiás. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

LORENZI, H. **Plantas daninhas no Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais.** 3. ed., Nova Odessa. 608p. 2000.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa Solo.** EMBRAPA Solos, 1999. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br>. Acesso em: 15 jun, 2006.

MARION, E. **Parâmetros hídricos para estimativa do rendimento de grãos de soja.** 2004. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

MARTORANO, L. G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT.** Porto Alegre: UFRGS, 2007, 151p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TEIXEIRA, J. P. F.; NAGAI, V.; TANAKA, R. T.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A. **A calagem nos teores de óleo e de proteína em soja.** *Bragantia*, Campinas, v. 49, n. 1, p. 171-182, 1990.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, nov./dez., 2003.

MELO, H. B. Interferência das plantas daninhas na cultura da soja cultivada em dois espaçamentos entre linhas. **Planta Daninha**, 19(2) 187-191, 2001.

MENEGATTI, L. A.; MOLIN, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v. 7, n. 2, p. 367-374. 2003.

METSUL. **Prolongada e extrema onda de calor pode atingir níveis históricos.** Disponível em: <http://www.metsul.com/blog2012/Home/home/522/Prolongada_e_extrema_onda_d_e_calor_pode_attingir_n%C3%ADveis_hist%C3%B3ricos>. Acesso em: 14 de novembro de 2014.

MITCHELL, R. L.; RUSSEL, W. J. Root development and rooting patterns of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) evaluated under field conditions. **Agronomy Journal**, v. 63, p. 313-316, 1971.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, p. 83-92, 2002.

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. 1998, 379p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Cranfield University, Silsoe. 1998.

MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Ed.) **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1997. p. 1- 18.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 143, p. 1, 3-10, set. 2013.

PARKER, M. W.; BORTHWICK, H. A. Influence of temperature on photoperiodic reactions in leaf blades of Biloxi soybean. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 104, p. 612-619. 1943.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1779-1784, 2004.

PETILIO, A.; PEREIRA, M.; PERÃO, G.; TAMAE, R. Y. Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Ano VI. Número 11. Junho de 2007—periódico semestral Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/agro11/artigos/anoviedic11-art09.pdf>>. Acesso em: 24 de novembro de 2014.

PIERCE, F. J.; ANDERSON, T. S.; COLVIN, J. K.; SCHUELLER, J.; HAMBURG, D. S.; MCLAUGHLIN, N. B. **The state of site specific management for agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p. 211-243, 1997.

RANGEL, M. A. S. **Minha soja floresceu com porte baixo e agora?** Embrapa artigos. Disponível em: <<http://www.embrapa.gov.br/imprensa/artigos/2006/artigo.2006-01-2.1615609604/>>. Acesso em: 05 ago. 2014.

RAPER, D. C.; BARBER, S. A. Rooting systems of soybean. I. Differences in root morphology among varieties. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 581-584, 1970.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C. & KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Ciência Rural**, 38. p. 576-586, 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 15/16, p. 2339-2354, 2003.

RICHTER, R. L.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J.; HANSEL, F. D. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e profundidade de amostragem. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 7, n. 13, 2011.

ROSOLÉM, C. A.; MARCELLO, C. S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia e Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 448-455, 1998.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia da soja. In: SUZUKI, S. et al. (Ed.). **Boletim de Pesquisa de Soja 2006**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 41-51. 2006.

SANTI, A. L. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**. Maio/Junho, 2012.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 123-131. 2007.

SEDIYAMA, T. (Org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, v. 1. p. 314, 2009.

SENAR. **Cartilha Agricultura de Precisão para todos**. Disponível em: <<http://www.senar.org.br/programa/agricultura-de-precisao>> Acesso em: 21 nov. 2014.

SFREDO, G. J.; PANIZZI, M. C. C. **Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja**. Londrina, EMBRAPA, CNPS (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 40), p. 57, 1990.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiência e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**: Descrição dos sintomas e ilustração com fotos. Londrina, Embrapa, (Documentos, 231) p. 44, 2004.

SILVA, A. F.; CONCENÇO, G.; ASPIAZÚ, I.; FERREIRA, E. A.; GALON, L.; FREITAS, M. A. M.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A. Período anterior à interferência na cultura da soja-rr em condições de baixa, média e alta infestação, **Planta Daninha**, v. 27, p. 57-66, 2009.

SOUZA, D. M. G.; REIN, T. A.; LOBATO, E. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. 1999, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: SBCS, 1999. CD-ROM.

UNGERA, P. W.; STEWARTA, B. A.; PARRB, J. F.; SINGHC, R. P. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. **Soil & Tillage Research**, v. 20, p. 219-240, 1991.

WAY, T. R.; BAILEY, A. C.; RAPER, R. L.; BURT, E. C. Tire lug height effect on soil stresses and bulk density. **American Society Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 38, p. 669-674, 1995.

WIERMANN, C.; WAY, T. R.; HORN, R.; BAILEY, A. C.; BURT, E. C. Effect of various dynamic loads on stress and strain behavior of a Norfolk sandy loam. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 50, p. 127-135, 1999.

WILLIS, P. R.; CARTER, P. G.; JOHANNSEN, C. J. Assessing yield parameters by remote sensing techniques. In: International Conference on Precision Agriculture, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, Part A, p. 1465-73, 1999.

ZHANG, M.; HENDLEY, P.; DROST, D.; O'NEIL, M.; USTIN, S. Corn and soybean yield indicators using remotely sensed vegetation index. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy. Part A, p. 1475-81, 1999.

ANEXOS

Anexo A. Temperaturas e precipitações históricas durante o período experimental.

Mês	Temperatura mínima (°C) histórica	Temperatura máxima (°C) histórica	Precipitação histórica	Média das temperaturas (experimento)	Média das temperaturas mínima (experimento)	Média das temperaturas máxima (experimento)
Nov/13	18	28	166	25,1	19,1	30,2
Dez/13	20	30	159	27,4	21,3	32,2
Jan/14	19	32	158	26,9	21,4	31,4
Fev/14	19	31	149	27,7	21,9	31,6
Mar/14	17	30	118	23,8	18,1	28,1

Fonte: Climatempo.

Anexo B. Precipitações ocorridas durante o período experimental.

Mês	Precipitação
Dezembro	85 mm
Janeiro	159 mm
Fevereiro	100 mm
Março	50 mm

Anexo C. Temperaturas observadas durante o período experimental no mês de novembro de 2013.

Dia	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Média dos dias	Média do mês
1	21	30	30	27	25,1
2	22	27	25	24,7	
3	18	19	22	19,7	
4	15	24	30	23	
5	13	25	30	22,7	
6	15	27	30	24	
7	16	28	30	24,7	
8	18	30	31	26,3	
9	19	30	25	24,7	
10	26	34	36	32	
11	24	30	25	26,3	
12	17	21	30	22,7	
13	15	29	33	25,7	
14	19	29	35	27,7	
15	22	33	20	25	
16	18	23	28	23	
17	14	24	30	22,7	
18	20	29	33	27,3	
19	24	26	30	26,7	
20	20	26	25	23,7	
21	21	26	26	24,3	
22	20	30	28	26	
23	16	27	31	24,7	
24	18	27	30	25	
25	20	30	35	28,3	
26	25	31	25	27	
27	21	30	23	24,7	
28	20	24	28	24	
29	16	27	31	24,7	
30	21	30	29	26,7	

Fonte: COTRISA.

Anexo D. Temperaturas observadas durante o período experimental no mês de dezembro de 2013.

Dia	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Média dos dias (°C)	Médias do Mês
1	22	25	23	23,3	27,4
2	19	25	30	24,7	
3	20	27	30	25,7	
4	19	30	33	27,3	
5	26	21	25	24	
6	21	25	23	23	
7	17	32	34	27,7	
8	19	30	35	28	
9	24	28	22	24,7	
10	20	25	27	24	
11	17	25	30	24	
12	17	28	29	24,7	
13	22	30	25	25,7	
14	20	31	38	29,7	
15	21	33	34	29,3	
16	20	31	37	29,3	
17	20	30	33	27,7	
18	25	29	30	28	
19	22	30	32	28	
20	20	30	31	27	
21	21	35	35	30,3	
22	23	31	33	29	
23	20	30	36	28,7	
24	21	31	38	30	
25	25	34	37	32	
26	23	34	27	28	
27	25	28	27	26,7	
28	24	33	38	31,7	
29	23	32	34	29,7	
30	25	32	35	30,7	
31	25	27	34	28,7	

Fonte: COTRISA.

Anexo E. Temperaturas observadas durante o período experimental no mês de janeiro de 2014.

Dia	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Média dos dias	Média do Mês
1	24	26	28	26	26,9
2	24	25	26	25	
3	22	21	24	22,3	
4	17	26	29	24	
5	18	28	35	27	
6	20	30	31	27	
7	23	30	34	29	
8	19	25	28	24	
9	21	28	26	25	
10	23	31	30	28	
11	22	20	22	21,3	
12	19	26	20	21,7	
13	20	26	30	25,3	
14	20	27	25	24	
15	20	28	31	26,3	
16	20	27	30	25,7	
17	20	31	33	28	
18	21	31	32	28	
19	22	32	27	27	
20	22	32	34	29,3	
21	24	32	36	30,7	
22	24	33	36	31	
23	25	33	36	31,3	
24	26	31	35	30,7	
25	19	21	29	23	
26	20	27	25	24	
27	22	30	34	28,7	
28	23	32	36	30,3	
29	23	31	38	30,7	
30	23	31	38	30,7	
31	21	31	37	29,7	

Fonte: COTRISA.

Anexo F. Temperaturas observadas durante o período experimental no mês de fevereiro de 2014.

Dia	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Média dos dias	Média do mês
1	24	32	37	31	27,7
2	23	30	30	27,7	
3	23	33	39	31,7	
4	23	32	38	31	
5	23	32	37	30,7	
6	23	34	40	32,3	
7	25	33	40	32,7	
8	26	34	40	33,3	
9	25	34	39	32,7	
10	22	32	38	30,7	
11	23	33	38	31,3	
12	24	33	28	28,3	
13	22	30	26	26	
14	19	20	25	21,3	
15	19	25	30	24,7	
16	16	28	30	24,7	
17	17	30	33	26,7	
18	21	30	34	28,3	
19	23	30	33	28,7	
20	22	23	26	23,7	
21	20	29	32	27	
22	24	30	28	27,3	
23	23	27	26	25,3	
24	24	29	30	27,7	
25	24	27	27	26	
26	22	26	24	24	
27	18	21	24	21	
28	14	24	25	21	

Fonte: COTRISA.

Anexo G. Temperaturas observadas durante o período experimental no mês de março de 2014.

Dia	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Média dos dias	Média do mês
1	15	25	31	23,7	23,8
2	15	27	29	23,7	
3	19	29	30	26	
4	20	25	24	23	
5	21	28	29	26	
6	17	28	28	24,3	
7	17	29	28	24,7	
8	19	23	26	22,7	
9	16	29	28	24,3	
10	20	22	30	24	
11	18	23	30	23,7	
12	19	26	29	24,7	
13	18	29	32	26,3	
14	19	30	30	26,3	
15	23	22	28	24,3	
16	22	25	32	26,3	
17	24	23	20	22,3	
18	21	24	22	22,3	
19	20	29	26	25	
20	18	25	20	21	
21	18	22	19	19,7	
22	15	19	20	18	
23	9	22	21	17,3	
24	12	23	29	21,3	
25	16	26	31	24,3	
26	17	28	28	24,3	
27	17	28	29	24,7	
28	17	31	27	25	
29	20	31	32	27,7	
30	22	30	26	26	
31	21	28	28	25,7	

Fonte: COTRISA.

Anexo H. Médias históricas de temperaturas mínimas, máximas e precipitação do município de Santo Ângelo.

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	19	32	158
Fevereiro	19	31	149
Março	17	30	118
Abril	14	27	178
Maio	11	24	161
Junho	9	21	138
Julho	9	21	143
Agosto	11	23	128
Setembro	12	24	180
Outubro	14	27	230
Novembro	18	28	166
Dezembro	20	30	159

Fonte: Climatempo.

Anexo I. Teor de matéria orgânica no solo na camada de 0 a 10 cm, na área experimental.

