

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

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO
APLICADAS AO MANEJO DA ADUBAÇÃO NA
ROTAÇÃO ARROZ IRRIGADO COM SOJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Evandro Ferigolo Venturini

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADAS
AO MANEJO DA ADUBAÇÃO NA ROTAÇÃO ARROZ
IRRIGADO COM SOJA**

Evandro Ferigolo Venturini

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Em
Agricultura de Precisão, Área de Concentração Manejo Sítio Específico,
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil

2014

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

Venturini, Evandro Ferigolo
Técnicas de agricultura de precisão aplicadas ao
manejo da adubação na rotação arroz irrigado com soja /
Evandro Ferigolo Venturini.-2014.
93 p.; 30cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Correção do solo 2. Manejo localizado 3. Resultado
econômico I. Amado, Telmo Jorge Carneiro II. Título.

© 2014

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

E-mail: efventurini@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão**

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

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADAS AO
MANEJO DA ADUBAÇÃO NA ROTAÇÃO ARROZ IRRIGADO COM
SOJA**

elaborada por
Evandro Ferigolo Venturini

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Jackson Ernani Fiorin Dr. (UNICRUZ/CCGL TEC)

José Alan de Almeida Acosta Dr. (DRAKKAR)

Santa Maria, 12 de março de 2014.

A DEUS

A meus pais,

Germano e Cila, pelo incentivo de sempre buscar chegar mais longe...

Aos meus irmãos Simone e Saulo pelo companheirismo e parceria...

À Ana Paula minha esposa por estar sempre ao meu lado...

A meu filho Bernardo, esta benção que tenho na minha vida...

A todos, meu muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Germano Celito Venturini e Cila Ferigolo Venturini pela vida, meus irmão Saulo pela influenciou na escolha do Curso de Agronomia e minha irmã Simone pelo apoio e incentivo constante;

A minha mulher Ana Paula Santana Venturini pelo companheirismo e apoio em todos os momentos depois que estamos juntos e ao Filho Bernardo razão do meu esforço e dedicação no que faço todos os dias;

A todos meus familiares que sempre me apoiaram;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da UFSM.

À Universidade Federal de Santa Maria e a todos os “mestres” que contribuíram para minha formação técnica e pessoal;

Ao professor Dr. Telmo Amado pela orientação, e confiança na jornada;

A Formosa Agropecuária nas pessoas do Alberto (“Betinho”) e Sérgio pela disponibilidade das áreas e informações para o trabalho;

À empresa DRAKKAR AGRICULTURA DE PRECISÃO, por me disponibilizar liberdade de tempo para a realização do mestrado, bem como pelos dados experimentais de cliente e parceiro da Empresa.

Ao José Alan de Almeida Acosta pela amizade, pelo apoio, ajuda e companheirismo;

Ao amigo Marcelo Rossato Busato pelo apoio e ajuda constante no decorrer deste trabalho e do dia a dia.

Ao amigo Olavo Gabriel Rossato santi, pela ajuda e companheirismo.

Ao amigo Claudio Lemainski, pelo esforço e dedicação na implantação do experimento.

Aos colegas do escritório da Drakkar, Andria, Leonice, Vinícius, Leonice Vidal, Kátia e Larissa e André Ebone, pela ajuda.

A todos os demais colaboradores e amigos da Empresa DRAKKAR AGRICULTURA DE PRECISÃO, que de alguma forma me ajudaram e pelo companheirismo no dia-a-dia.

O meu muito obrigado a todos.

RESUMO

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

TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADAS AO MANEJO DA ADUBAÇÃO NA ROTAÇÃO ARROZ IRRIGADO COM SOJA

AUTOR: EVANDRO FERIGOLO VENTURINI
ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Santa Maria, 12 de março 2014.

A lavoura de arroz irrigado do RS tem grande importância no cenário agrícola, porém a alta variabilidade do solo, a baixa fertilidade e ocorrência de invasoras como o arroz vermelho prejudicam esta cultura. A rotação de culturas com a soja vem auxiliar no controle de plantas e no aumento da fertilidade, porém, ainda não é suficiente para alcançar os patamares de produtividade das variedades disponíveis. Assim é necessário ao produtor buscar alternativas para aumentar a produtividade e lucratividade, tendo na Agricultura de Precisão (AP) mais uma ferramenta para auxiliar no processo, através dos mapas de fertilidade, a realização das correções localizadas para racionalizar os custos das lavouras tornando o sistema mais sustentável. Com o objetivo de avaliar a eficiência técnica e econômica da taxa variável de aplicação na cultura do arroz irrigado e da soja, foi desenvolvido o trabalho no município de São Gabriel na propriedade Formosa Agropecuária, por um período de três anos. Inicialmente em 2009 a área foi vetorizada com GPS de navegação e estabelecido uma malha de coleta com grid de 1,0 ha, para avaliar a variabilidade química do solo. Foi utilizado o *software* CR Campeiro 7 para gerar os mapas de atributos químicos. A partir destes resultados a área foi dividida em dois talhões, um deles para o uso das técnicas de AP, e o outro para o manejo habitual da lavoura. Foram gerados mapas de aplicação à taxa variável de N, P e K para a área destinada a AP. Os mapas de fertilidade foram repetidos em 2012, através de novas coletas de solo nos mesmos pontos, para verificar os efeitos das correções e das exportações de nutrientes. Foram gerados mapas de produtividade nos anos de 2010 e 2011 com o auxílio do *software* SMS Ag Leader para avaliação. Nas avaliações de produtividade, tivemos um resultado positivo de produção na safra 2010 de 3% no arroz, 2011 de 13% na soja e 2012 de 2,2% novamente no arroz, estas diferenças corresponderam a incremento financeiro nas safras de R\$ 489,15 ha⁻¹. A utilização da AP proporcionou além de aumento de produtividade, uma redução da diferença de fertilidade entre as áreas. A utilização das técnicas de mapeamento de AP foi eficiente para identificação da variabilidade do solo. A adubação variável proporcionou aumento de produção, com destaque para o N variável, com maior correlação positiva com a produção. O uso da técnica aumentou o custo total de produção, porém melhorou o custo benefício do investimento realizado por unidade de produção. O balanço de nutrientes foi negativo para K devido à retirada da palha do arroz. A utilização de AP foi favorável, técnica e economicamente a lavoura de várzea.

Palavras-chave: Correção do solo. Manejo localizado. Resultado econômico.

ABSTRACT

Master Dissertation
Precision Agriculture Graduation Program
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

PRECISION AGRICULTURE PRACTICES IN THE MANAGEMENT OF THE SOIL FERTILITY IN ROTATION BETWEEN IRRIGATED RICE AND SOYBEAN

Author: EVANDRO FERIGOLO VENTURINI
Advisor: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Local and Date: Santa Maria/RS, march 12th, 2014.

The irrigated rice is common and important to the agricultural scenario of RS, however the spatial variability and low fertility of soils associated with some difficult weed control in this crop provided the use of crop rotation practices with soybean. The rotation with soybean can increase the production and to improve the soil fertility by fertility maps, fertility adjustment in site specific and others sustainable practices of the precision agriculture, therefore, equalizing the costs and expanding the profitability. The objective of this study was to evaluate the technical and economic efficiency of the site specific fertilization in the crop rotation between irrigated rice and soybean. The study was conducted in the farm Formosa Agropecuária, in São Gabriel - RS, during three years. In 2009 was determined the edge of the field with the navigation GPS and, following a grid sampling of 1 ha, was evaluated the soil variability. The fertility maps were made by CR Campeiro 7.0® software, and after this, the field was divided in two plots, the first with precision agriculture practices and the other kept the conventional management. The adjust of fertility in site specific was through of the maps of nitrogen, phosphorus and potassium. The new sampling of soil in 2012, following a grid sampling of 1 ha, allowed identify the exportation of nutrients and to evaluate the fertility strategy and recommendation. In the years 2010 and 2011 by the SMS Ag Leader® software was made the maps of productivity, increasing the rice productivity in 3% in 2010 and 2,2% in 2012, besides 13% more in soybean productivity in 2011. These increases mean approximately U\$ 225.00 per hectare. The use of precision agriculture techniques improves the soil fertility, identifying the spatial variability of soil resulting in a rise of production in the rotation between irrigated rice and soybean, specially by the maps of variation of nitrogen in rice. The cost of production was biggest with precision agriculture practices, but the relationship between benefits and cost was positive to this technology. Precision agriculture is practicable technical and economically in lowland.

Keywords: Adjustment of soil fertility. Site specific management. Economic efficiency.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Interpretação da análise de fósforo (P) para fins de recomendação de adubação fosfatada para o arroz irrigado.....	43
Tabela 2 – Interpretação da análise de potássio (K) para fins de recomendação de adubação potássica no arroz irrigado.	45
Tabela 3 – Manejo de adubação para as 3 safras.	46
Tabela 4 – Recomendação de adubação nitrogenada para o arroz irrigado.....	47
Tabela 5 – Extração de Nutrientes por tonelada de grãos, COMISSÃO... (2004)....	52
Tabela 6 – Extração de Nutrientes por tonelada de palha de arroz, POTAFÓS, (2005).....	52
Tabela 7 – Produção de grãos e feno das áreas das áreas.....	53
Tabela 8 – Comparativo dos atributos químicos do solo entre a área de Agricultura Convencional (AC) e a área de Agricultura de Precisão (AP) 2009.	55
Tabela 9 – Correlação de produção com N, P e K safra 2010.	59
Tabela 10 –Balanço total de nutrientes das safras 2010, 2011 e 2012.....	65
Tabela 11 –Balanço de nutrientes 2010.....	66
Tabela 12 –Balanço de nutrientes 2011.....	66
Tabela 13 –Balanço de nutrientes 2012.....	67
Tabela 14 –Adubação, Produtividade e análise econômica parcial das safras 2010, 2011 e 2012.	68
Tabela 15 –Adubação, Produtividade e análise econômica parcial safra 2010.	69
Tabela 16 –Análise parcial de custos 2011.....	69
Tabela 17 –Adubação, Produtividade e análise econômica parcial safra 2012.	70
Tabela 18 –Comparativo dos atributos químicos do solo entre a área de Agricultura Convencional (AC) e a área de Agricultura de Precisão (AP) 2012.	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área plantada, produção e produtividade do arroz irrigado no RS.....	19
Figura 2 – Evolução de plantio da soja em áreas de arroz em solos de várzea.....	21
Figura 3 – Localização do experimento.....	36
Figura 4 – Área do experimento com vetorização e divisão da área.....	37
Figura 5 – Grade amostral da área experimental.....	38
Figura 6 – Esquema de pontos na grade de coleta.....	38
Figura 7 – Esquema da metodologia de amostragem e solo, 1 ponto central e mais 4 sub-amostras coletadas (Padrão Drakkar Solos Consultoria). ...	39
Figura 8 – Cavadeira utilizada na amostragem de solo (Padrão Drakkar Solos Consultoria).....	39
Figura 9 – Imagem dos softwares utilizados no trabalho.....	40
Figura 10 – Twister 150/Stara APS e a aplicação de SFT, KCl e uréia.....	41
Figura 11 – Mapas de Saturação por Bases.....	42
Figura 12 – Mapas de fertilidade de Fósforo.....	43
Figura 13 – Mapas de Aplicação à taxa variável de Fósforo.....	44
Figura 14 – Mapas de Saturação de Potássio (%).	45
Figura 15 – Mapas de Aplicação de Potássio na CTC pH ₇	46
Figura 16 – Mapas de matéria orgânica do solo.	48
Figura 17 – Mapas de aplicação de uréia.....	49
Figura 18 – Mapas de aplicação de uréia.....	50
Figura 19 – Colheita do arroz e de soja.....	51
Figura 20 – Comparação dos níveis de fertilidade e a produtividade no Ano Agrícola de 2010.....	56
Figura 21 – Mapas de colheita da área de AP e da área de AC Safra 2010.....	57
Figura 22 – Zonas de produção das lavouras de arroz safra 2010.	58
Figura 23 – Mapas de colheita da área de AP e da área de AC Safra 2011.....	60
Figura 24 – Zonas de produção das lavouras de soja 2011.....	61
Figura 25 – Zonas de produção das lavouras de arroz e soja 2009/10 e 2010/11....	62
Figura 26 – Distribuição das produtividades dos mapas de colheita safra 2009/10 e safra 2010/11.	63
Figura 27 – Gráfico comparativo dos teores de P na área de AC 2009/12.	71
Figura 28 – Níveis de fósforo do experimento 2009 e 2012 AC.....	71
Figura 29 – Sobreposição dos níveis de fósforo da área de AC 2009/2012.....	72

Figura 30 – Gráfico comparativo dos teores de P na área de AP 2009/12.....	73
Figura 31 – Níveis de fósforo do experimento 2009 e 2012.....	73
Figura 32 – Níveis de fósforo na área de AP 2009/2012.....	74
Figura 33 – Gráfico comparativo dos teores de K na área se AC 2009/2012.....	75
Figura 34 – Níveis de potássio do experimento 2009 e 2012.....	75
Figura 35 – Níveis de potássio na área de AC 2009/2012.....	76
Figura 36 – Gráfico comparativo dos teores de K na área se AP 2009/2012.....	77
Figura 37 – Níveis de potássio do experimento 2009 e 2012.....	77
Figura 38 – Níveis de potássio na área de AP 2009/2012.....	78
Figura 39 – Comparação dos níveis de fertilidade 2012.....	81
Figura 40 – Custo de Produção.....	91
Figura 41 – Temperatura safra 2009/10.....	92
Figura 42 – Temperatura safra 2010/11.....	92
Figura 43 – Temperatura safra 2011/12.....	92
Figura 44 – Pluviosidade Safra 2009/10.....	93
Figura 45 – Pluviosidade Safra 2010/11.....	93
Figura 46 – Pluviosidade Safra 2011/12.....	93

LISTA DE SIGLAS.

AC	– Agricultura Convencional
AP	– Agricultura de Precisão
APASUL	– Associação dos produtores e comerciantes de sementes e mudas do Rio Grande do Sul
AR	– Argila
AT	– Agricultura Tradicional
Bo	– Boro
Ca	– Cálcio
CONAB	– Companhia Nacional de Abastecimento
COOPATRIGO	– Cooperativa Tritícola Regional São-Luizense Ltda.
COTRIBÁ	– Cooperativa Agrícola Mista General Osório
COTRIJUÍ	– Cooperativa Agropecuária e Industrial
CTC	– capacidade de troca de cátions
Cu	– Cobre
CV	– Coeficiente de Variação
DAP	– Di-amônio fosfato
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBN	– Fixação biológica de nitrogênio
GPS	– Sistema de Posicionamento Geográfico
IRGA	– Instituto Rio Grandense de Arroz
K	– Potássio
K ₂ O	– Óxido de potássio
KCl	– Cloreto de potássio
MAPA	– Ministério da Agricultura e Pecuária
MERCOSUL	– Mercado Comum do Sul
Mg	– Magnésio
Mg	– Magnésio
Mn	– Manganês
MO	– Matéria Orgânica do Solo
N	– Nitrogênio
P	– Fósforo
P ₂ O ₅	– Pentóxido de fósforo
pH	– Potencial de Hidrogênio
RS	– Rio Grande do Sul
S	– Enxofre
SB	– Saturação de Bases
SC	– Santa Catarina
SFT	– Super Fosfato Triplo
SMS	– Spatial Management System™
SOSBAI	– Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado
Zn	– Zinco

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADAS AO MANEJO DA ADUBAÇÃO NA ROTAÇÃO ARROZ IRRIGADO COM SOJA	14
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO PRINCIPAL	17
2.1 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Rotação arroz irrigado com soja em várzeas	18
3.2 Variabilidade dos solos de várzea	23
3.3 Benefícios e vantagens econômicas da Agricultura de Precisão.....	29
3.4 Aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável.....	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Manejo de correção de fertilizantes da área	40
4.1.1 Recomendação de correção de acidez do solo.....	41
4.1.2 Recomendação de correção de fósforo (P).....	42
4.1.3 Recomendação de correção de potássio (K)	44
4.2 Manejo de adubação da área para as safras 2010, 2011 E 2012	46
4.2.1 Manejo de adubação nitrogenada (N)	47
4.2.1.1 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2010 área com AP	48
4.2.1.2 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2010 área com AC	49
4.2.1.3 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2012 área com AP	49
4.2.1.4 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2012 área com AC	50
4.3 Procedimento de colheita das safras 2010, 2011 e 2012	51
4.4 Balanço de nutrientes das áreas	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 Avaliação da fertilidade dos solos das áreas 2009	54
5.2 Resultado dos mapas de colheita.....	56
5.2.1 Avaliação safra 2010.....	56
5.2.1.1 Correlação de produção com os nutrientes N, P e K aplicados à taxa variável safra 2010	58
5.2.2 Avaliação safra 2011	59
5.2.3 Avaliação safra 2012.....	61
5.2.4 Avaliação da produtividade em 2010 e 2011.....	62
5.2.5 Comparativo de produtividade entre ACxAP 2010 e 2011	63
5.2.5.1 Correlação de produtividade com fósforo.....	64
5.3 Balanço de nutrientes das áreas	64
5.3.1 Balanço total de nutrientes 2010, 2011 e 2012	64
5.3.2 Balanço de nutrientes 2010.....	65
5.3.3 Balanço de nutrientes 2011	66

5.3.4 Balanço de nutrientes 2012.....	66
5.4 Avaliação econômica simplificada das safras.....	67
5.4.1 Avaliação econômica simplificada safra 2010; 2011 e 2012	67
5.4.2 Avaliação econômica parcial safra 2010	68
5.4.3 Avaliação econômica simplificada safra 2011	69
5.4.4 Avaliação econômica simplificada safra 2012	70
5.5 Avaliação final dos nutrientes na área do experimento.....	70
5.5.1 Avaliação dos teores de fósforo na área com AC	70
5.5.2 Avaliação dos teores de fósforo na área com AP.....	72
5.5.3 Avaliação dos teores de potássio na área com AC	74
5.5.4 Avaliação dos teores de potássio na área com AP	76
5.6 Avaliação da fertilidade das áreas 2012.....	78
6 CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	90

CAPÍTULO 1 – TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADAS AO MANEJO DA ADUBAÇÃO NA ROTAÇÃO ARROZ IRRIGADO COM SOJA

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos e vem aumentando sua produção no decorrer dos anos em função da maior demanda mundial por alimentos. Além disso, precisa aumentar sua eficiência para manter a competitividade e rentabilidade na produção agrícola, em cenários com mais restrições ambientais que estão limitando a abertura de novas áreas de produção.

O arroz é uma cultura expressiva dentro do cenário agrícola brasileiro e tem grande importância social e econômica na cadeia produtiva, sendo plantado em uma área de 2,4 milhões de hectares com uma produção ao redor de 11,75 milhões de toneladas (CONAB, 2013).

A cultura do arroz irrigado representa uma área significativa de produção do Rio Grande do Sul muito importante na cadeia produtiva em função da geração de empregos e de recursos ao Estado. A lavoura de arroz irrigado ocupa aproximadamente 1,08 milhões de hectares, distribuídos nas regiões da Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Zona Sul, Planície Costeira Interna e Planície Costeira Externa, representando em torno de 70% da produção nacional deste cereal (IRGA, 2013).

A cultura do arroz apresenta um alto potencial produtivo desde que seja manejada de forma adequada, em especial na fertilidade do solo, fundamental para a sustentabilidade do sistema e ao aproveitamento dos insumos utilizados para esta lavoura (SCHAOENFELD, 2010). Já temos no estado áreas de produção acima de 10.000 kg ha⁻¹, porém a média geral de produtividade está ao redor de 7.500 kg ha⁻¹ de produção safra 2012/13 (IRGA 2013).

Embora tenha uma grande importância econômica e social para o cenário agrícola gaúcho, Acosta et al. (2010), relata que ainda está sendo realizado um baixo investimento na adubação em função das alterações químicas que ocorrem no

solo com a entrada da água do sistema de irrigação e também porque em muitos casos as áreas utilizadas são arrendadas. Além disso, devido ao contínuo uso destas áreas para a produção vem ocorrendo o aparecimento de plantas invasoras de difícil controle como, por exemplo, é o caso do arroz vermelho, que acarreta grandes prejuízos na produtividade e qualidade do arroz irrigado e na rentabilidade das áreas, tornando-se alguns casos impraticáveis o cultivo continuado.

Estas áreas de cultivo de arroz apresentam variações de produtividade e fertilidade em função de diversos fatores que comprometem a estabilidade de produção prejudicando o rendimento econômico e também devido ao manejo inadequado do uso de insumos acarretando impactos ambientais negativos na agricultura.

Os produtores rurais bem como os técnicos que trabalham no campo já observam variações na produtividade dentro dos talhões. Porém a tomada de decisão para solucionar estas variabilidades com alguma correção do sistema sem uma devida medição fica bastante difícil, e muitas vezes não é bem sucedida uma vez que não se sabe exatamente a causa destas diferenças.

Ainda há poucos trabalhos de pesquisa sobre a variabilidade química dos solos de várzea e por isso os dados são restritos sobre a dinâmica da variabilidade destas áreas cultivadas com arroz irrigado. Além disso, poucas empresas e técnicos se habilitam a trabalhar neste tipo de ambiente.

Embora seja de conhecimento geral que as áreas de várzea são manejadas com preparo de solo intensivo, há também um grande número de áreas sistematizadas ou em processo de sistematização. Estes manejos geram grande variabilidade no solo, seja por revolvimento no preparo e entaipamento da lavoura, seja pela movimentação de solo de uma região para outra dentro da lavoura pela sistematização, além da variabilidade já existente de origem e formação destes solos.

Em função destes problemas os produtores estão buscando alternativas tecnológicas para aumentar a produção de forma sustentável. Uma delas é a rotação de culturas com a soja, trazendo vantagens a todo o sistema de produção. A soja proporciona a melhoria do manejo da fertilidade do solo e também o controle das plantas daninhas da cultura do arroz e, segundo IRGA (2013), a projeção do avanço do plantio desta leguminosa sobre as áreas de arroz alcançará em torno de

300 mil hectares na safra de 2013/14, um crescimento de 450% em relação à safra 2010/2011, em que foram cultivados ao redor de 66,5 mil hectares.

A cultura da soja por suas características e necessidades provoca um aumento na complexidade do sistema de várzea, uma vez que esta cultura responde a adubação, sendo necessário realizar correções de fertilidade, com maior utilização de calcário para correção do pH, diferente da cultura do arroz que se beneficia do aumento do pH que ocorre no solo após a inundação.

Os custos de produção nas áreas de arroz com o manejo de solo, uso da água para irrigação, dos insumos para adubação, e controle de pragas e doenças são elevados, mesmo com a rotação com a cultura da soja, que vem proporcionando ganhos técnicos e econômicos ao sistema. Entretanto, em muitas lavouras, ainda se trabalha com indicações de adubação alicerçadas em poucos laudos químicos de solo e assim utiliza-se uma recomendação de adubação pela média da necessidade nos talhões ou ainda em toda a área da lavoura, mantendo ou ainda aumentando a variabilidade química do solo.

Para que o produtor possa alcançar altas produtividades, tanto no arroz como na soja, é preciso identificar quais os fatores de produção que estão limitando o desenvolvimento das plantas e a produtividade das lavouras de várzea. Para isso, tornar-se necessária a utilização de um conjunto de informações mais detalhadas para entender e gerenciar melhor as lavouras. Assim, ferramentas capazes de identificar a variabilidade ou mesmo atenuá-la podem levar ao aumento gradual da produtividade, maior eficiência e retorno econômico, além de proporcionar uma maior sustentabilidade ao sistema produtivo.

Para suprir esta lacuna de informações é necessário utilizar as ferramentas tecnológicas como a Agricultura de Precisão (AP), que possibilita a identificação das variabilidades do solo e possibilita utilização de aplicações de corretivos e fertilizantes a taxa variável, colocando a adubação de acordo com a necessidade da cultura, proporcionando intervenções mais precisas e de maneira mais eficiente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência técnica e econômica do uso de tecnologias de AP através de mapas de solo, mapas de colheita e manejo da adubação a taxa variável na cultura do arroz irrigado em rotação com a soja, possibilitando também caracterizar a variabilidade química de um solo de várzea na Depressão Central do RS.

2 OBJETIVO PRINCIPAL

Avaliar a eficiência técnica e econômica da taxa variável de aplicação na cultura do arroz irrigado e da soja.

2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar a variabilidade espacial das características química de um solo de várzea;
- Avaliar os efeitos de doses variáveis de N, P e K na produtividade do arroz e da soja;
- Fazer uma análise econômica parcial do retorno econômico do uso de técnicas de Agricultura de Precisão (AP).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Rotação arroz irrigado com soja em várzeas

O arroz é um cereal que está na base da alimentação dos seres humanos do mundo e representa 29% do total de grãos consumidos pela população, atrás apenas do milho com 33%, sendo ainda responsável por cerca de 20% das calorias consumida no mundo, o Brasil está entre os 10 maiores produtores mundiais deste cereal, com uma produção ao redor de 12 milhões de toneladas o que corresponde a mais de 80% da produção do MERCOSUL (SOSBAI, 2012).

No Brasil, o principal representante em área plantada é o estado do Rio Grande do Sul, além disso, este estado tem a maior produtividade média e conseqüentemente maior produção, segundo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2013), a cultura do arroz irrigado é semeado em uma área de aproximadamente 1,1 milhões de hectares com uma produtividade ao redor de 8,07 milhões de toneladas o que representa 70% de todo arroz produzido na Brasil.

Em função destes fatores esta cultura tem um papel importante na economia do Estado tanto na geração de empregos quanto na arrecadação de impostos.

A produtividade do arroz irrigado vem aumentando nos últimos 10 anos de acordo com as Séries Históricas do IRGA, obteve-se um aumento na produtividade na ordem de 50% partindo de uma produtividade ao redor de 5.000 kg ha⁻¹ na safra 2002/03 para acima de 7.500 kg ha⁻¹ na safra 2012/13 (Figura 1) (IRGA, 2013). Já é uma realidade em lavouras comerciais chegarmos a patamares de produção superiores a 12.000 kg ha⁻¹, porém, sabe-se que a produtividade do arroz pode ainda alcançar valores de produção mais elevados devido ao potencial do material genético que vem sendo desenvolvido e disponibilizado no mercado, bem como nas alternativas de manejo e adubação que podem ser utilizadas auxiliando a melhoria das áreas, sendo possível alcançar patamares de produção de até 15.000 kg ha⁻¹.

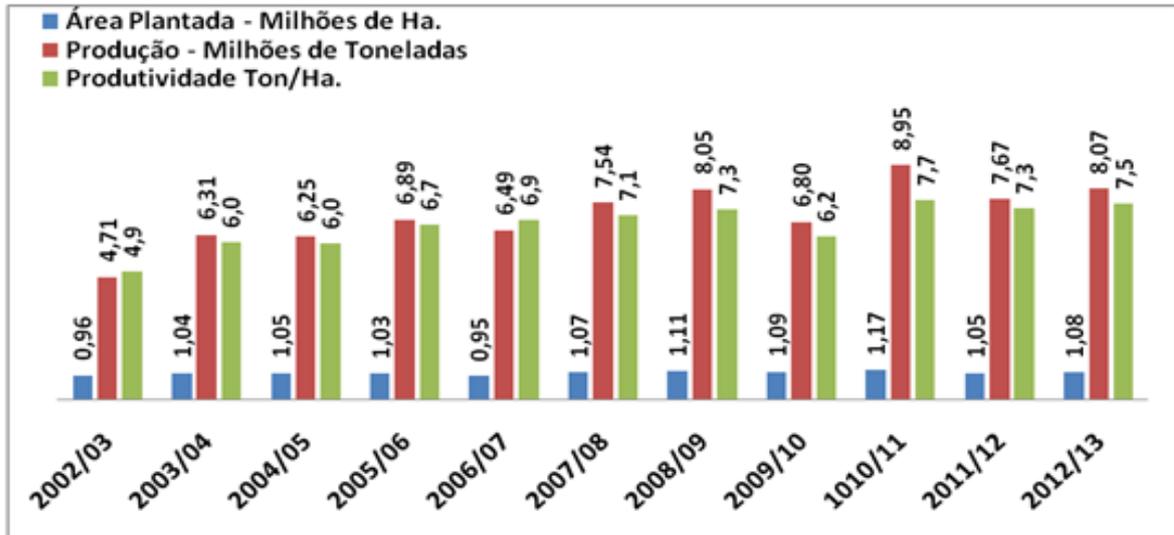


Figura 1 – Área plantada, produção e produtividade do arroz irrigado no RS.

Fonte: IRGA 2013.

O uso intensivo das áreas de várzea e o nível já alcançado de produtividade com a cultura do arroz irrigado nos últimos anos, associado ao mercado altamente competitivo, faz com que os produtores busquem, cada vez mais, alternativas capazes de aumentar o potencial produtivo de suas áreas e reduzir o custo de produção e os riscos do impacto ao meio ambiente (SCHOENFELD, 2010).

Contudo, a cultura do arroz apresenta um alto custo de produção em especial na utilização de fertilizantes, que representam 13,3% do custo total de produção da lavoura arroteira segundo IRGA, (2013), sendo o maior fator do custo de produção da lavoura, assim, quaisquer erros na utilização desta quantidade de adubação pode causar prejuízos financeiros e ambientais ao produtor arroteiro.

Gomes et al. (2006), cita que o sistema de produção estabelecido nos solos de várzea, arroz e pecuária extensiva apresenta problemas de baixa rentabilidade, também temos as infestações de plantas daninhas que prejudicam o sistema. Esta realidade tem gerado a necessidade do uso de sistema alternativo de produção, como a utilização de rotação das culturas, aumentando as possibilidades de uso desses solos com culturas de sequeiro como soja, milho e sorgo.

Esta utilização de alternativas ao cultivo do arroz irrigado em áreas de várzea proporciona um uso mais intenso do solo e melhorias em seus atributos, aproveitando de forma mais eficiente a utilização da mão-de-obra disponível nas propriedades, e reduzindo o custo com o manejo de produção para o arroz irrigado

e, em consequência, um aumento da produtividade além de uma maior diversificação na renda da propriedade dando mais sustentabilidade ao sistema produtivo (SOSBAI 2007).

A rotação de culturas em áreas baixas é uma alternativa que pode ser usada para recuperar a capacidade produtiva, aumentando os níveis de fertilidade devido a uma maior exigência nos níveis de fertilidade para as culturas de sequeiro. A rotação também proporciona uma redução na infestação de plantas invasoras como o arroz vermelho que traz um enorme prejuízo ao arroz irrigado cultivado, em função da rotação de herbicidas nas culturas de sequeiro e assim, consolidar ainda mais o sistema e proporcionar a sustentabilidade de produção de grãos neste ambiente.

A alternativa da cultura da soja apresenta uma boa opção técnica e favorável, para o sistema de produção em função do auxílio desta leguminosa na reciclagem de nutrientes, no controle de plantas daninhas e na redução do banco de sementes de invasoras como arroz-vermelho e outras plantas de difícil controle devido à rotação de herbicidas (MARCHEZAN, 2013).

A utilização de outros cultivos nas áreas de várzea é justificada por três aspectos: econômico, técnico e ambiental; na parte econômica, as margens de lucro são menores devido aos valores pagos aos produtores, conforme o aumento continuado dos custos de produção e devido à competitividade com o arroz vindo de outros países produtores. Outro aspecto importante é a possibilidade de usar o sistema de irrigação para as culturas nos períodos de deficiência hídrica. Quanto ao aspecto técnico, devido ao uso continuado das áreas com arroz ocorre aumento na incidência de doenças, pragas e plantas daninhas principalmente do arroz vermelho. No aspecto ambiental, busca-se a redução do uso de produtos químicos para controle de plantas, pragas e doenças, diminuindo o risco de danos ao meio ambiente (SOSBAI 2007).

Marchezan (2013), relatou que um dos aspectos mais importantes que definem a tomada de decisão de investir numa determinada atividade é a relação entre o seu custo e benefício, desta maneira pode-se explicar a crescente elevação das áreas destinadas à cultura da soja devido aos preços atuais desta cultura, e também a sua alta produtividade em áreas de arroz irrigado.

A utilização das áreas de várzea com o cultivo da soja vem em uma crescente nos últimos anos em função dos seus benefícios técnicos e econômicos ao produtor (Figura 2).

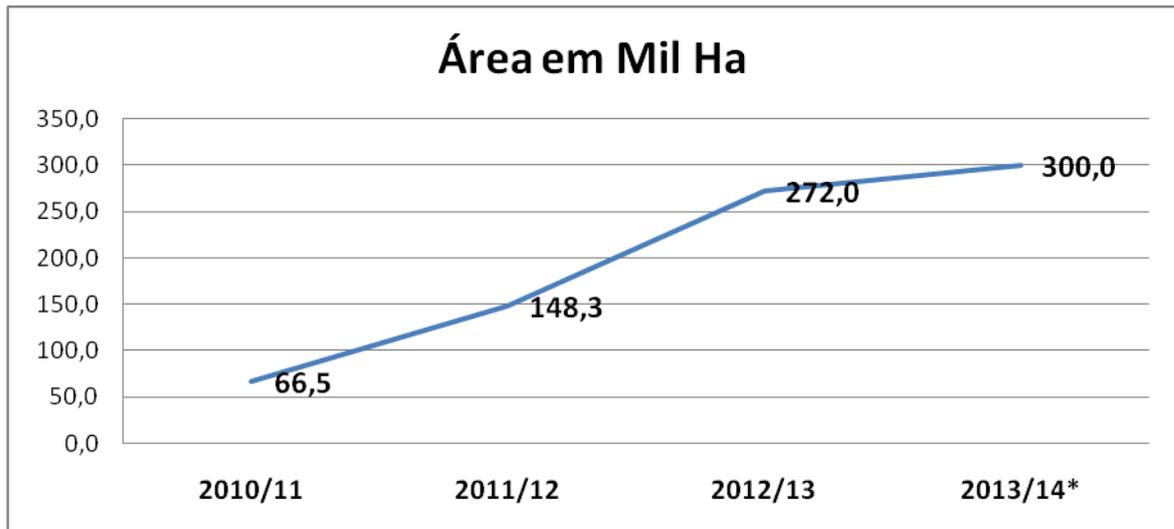


Figura 2 – Evolução de plantio da soja em áreas de arroz em solos de várzea.

Fonte: IRGA 2014. *Projeção

Para Schoenfeld (2010), a soja provavelmente é a alternativa com maior potencial de utilização em áreas de pousio ou em rotação com a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, proporcionando aumento da renda do produtor, além de melhorar tecnicamente essas áreas, principalmente pelo aporte de nitrogênio proveniente da fixação biológica realizada pela planta.

A agricultura vem ao passar dos anos em busca de aumento da rentabilidade; a globalização e a competitividade dos mercados fazem com que os produtores busquem mais lucratividade com menor custo, até então o aumento no uso de fertilizantes proporcionou incremento nas produtividades, porém; com a chegada de novas tecnologias, como utilização de AP, a qual proporciona um novo incremento na produtividade pela melhor alocação dos nutrientes na lavoura, permitindo aumentar a eficiência dos investimentos com melhores resultados (WERNER, 2007).

Ainda hoje quando se avalia a adubação, na maioria das lavouras esta é realizada pela necessidade da cultura e/ou pela expectativa de produção em função de poucos laudos de análises químicas, e desta maneira a lavoura é manejada de forma similar e por vezes idêntica dentro dos talhões ou ainda em todas as áreas de cultivo dos produtores, usando uma única dose de uma mesma formulação de fertilizante para realizar de maneira mais simples a adubação em dose única no plantio, sem que seja observada uma avaliação mais criteriosa que defina se as aplicações de insumos estão sendo realizadas de maneira adequada e que estas

não estejam trazendo impactos negativos à cultura como aumento de incidência de doenças e ataques por insetos, restringindo a produtividade e trazendo impactos ao meio ambiente.

Atualmente, na agricultura brasileira grandes áreas são consideradas homogêneas, e assim as doses de insumos utilizados são iguais e realizadas pela média destas áreas, desconsiderando a variabilidade espacial o que acarreta uma sobrecarga de adubação nas áreas férteis e a adubação abaixo da necessidade nas áreas com deficiência e em consequência esta forma de manejo causa um desbalanço no uso dos fertilizantes, comprometendo o rendimento das lavouras aumentando o custo de produção, podendo ainda acarretar menor produtividade além de gerar impactos ambientais (MACHADO et al., 2004).

Segundo Werner (2004), quando se avalia um sistema convencional de adubação onde normalmente é realizada uma única amostragem composta por talhão para representar o tipo de solo, sistema de cultivo, manejo de corretivos e uso fertilizantes, a Rede Oficial de Laboratórios para Análise de Solos para RS e SC, Rolas (1999) recomenda a aplicação de corretivos pelo resultado do laudo de análise de solo indicando uma adubação pela média de fertilidade e estes devem ser aplicados de forma uniforme em todo o talhão considerado.

Nas adubações realizadas pela média, o excesso de fertilizantes pode gerar impactos negativos na qualidade do solo e da água e reduzir as margens de lucro, enquanto que a sua falta pode restringir a produtividade e a qualidade da cultura, e assim diminuir a capacidade de resposta econômica na lavoura (Durigon 2007).

Em seu trabalho Santi (2007), afirma que a agricultura realizada pela média é uma estratégia muito comum e o produtor obtém apenas um valor médio de produtividade nos talhões e, por vezes, em toda a propriedade, mesmo quando observado a variabilidade ela não é quantificada, esta maneira de realizar agricultura não é sustentável uma vez que não se busca um gerenciamento e melhor uso dos insumos para o aumento de produtividade.

Assim é necessária a busca de uma avaliação mais detalhada da variabilidade do solo de várzea para obter o entendimento deste ambiente e melhorar a eficiência das lavouras, realizando uma utilização mais racional dos insumos e um maior cuidado com o ambiente, gerando rentabilidade e sustentabilidade ao sistema agrícola.

3.2 Variabilidade dos solos de várzea

Toda vez que se observa uma área dentro da lavoura de uma maneira ou de outra é possível identificar visíveis diferenças dentro das áreas, no tamanho das plantas, na coloração, no desenvolvimento vegetativo, ou mesmo na hora da colheita embora que não se tenha equipamentos de medição pode-se identificar variações de produtividade, porém, com estas identificações de diferenças de produção, há dificuldade de demarcar as áreas com menor potencial e saber o que fazer para diminuir estas diferenças. A variabilidade dos solos é fator que ocorre e limita o desempenho da produção agrícola, dificultando ainda a utilização adequada de insumos nestas áreas, esta variabilidade tem origens diversas como podemos observar a seguir.

Para Pinto et al. (2004), Gomes et al. (2006) e Dos Santos (2006), em função da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, os solos de várzea apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas, biológicas e mineralógicas, além de geralmente apresentarem fertilidade natural de baixa a moderada, com baixa disponibilidade de fósforo, de níveis de matéria orgânica e também baixos valores de pH, fatores estes que limitam a utilização destas áreas. Desta maneira é necessário que sejam utilizadas aplicações de corretivos e fertilizantes para que a culturas de arroz irrigado possa apresentar aumentos de produtividade.

Com o passar do tempo o uso do solo aumenta sua variabilidade devido ao preparo de solo, as rotações de culturas e a forma das aplicações das adubações (CAVALCANTE et al., 2007). A ação antrópica nas práticas de agricultura altera as características químicas do solo pela utilização de corretivos e fertilizantes causando aumento na variabilidade do solo (SANTOS & VASCONCELLOS, 1987).

A variabilidade espacial de parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo é a regra em sistemas de produção, esta variabilidade dos atributos pode ser alterada aumentando ou diminuindo sua variação de acordo com o tipo de manejo realizado no solo e das culturas utilizadas nas áreas de produção, assim, esta variabilidade quando medida pode ser utilizada para entender as limitações do sistema produtivo (FRANCHINI et al., 2012).

No trabalho de Parfitt et al. (2009), relata que o manejo do solo com adubações homogêneas, baseadas em valores médios das propriedades do solo, leva à ocorrência de zonas sub-corrigidas em parte da área e super fertilizado em outras partes. A primeira ação para mudar esta maneira de trabalho é buscar identificar qual o grau de variabilidade espacial das propriedades do solo, este importante passo no processo auxilia na tomada de decisão para uma gestão mais racional das aplicações corretivas e de fertilizantes.

Segundo Resende et al. (2010), relatam que dificilmente os padrões espaciais dos atributos de fertilidade química do solo de uma área se repetem nas outras, e estes padrões se alteram com o passar do tempo. Ainda Santi (2013), relata que a variabilidade espacial dos solos pode se relacionar a diversos fatores como as práticas de manejo, variação do material de origem, topografia, clima e organismos. Assim, conhecer esta variabilidade espacial e a fertilidade do solo é necessário para o sucesso da agricultura.

Caracterizar o solo quanto ao seu potencial é importante para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável. Machado et al. (2007) relata que se essa variabilidade dos atributos químicos puder ser medida e registrada, essas informações poderão ser utilizadas para fazer aplicações pontuais de corretivos e fertilizantes e assim, aumentar a produtividade do sistema e diminuir os impactos ambientais (BERALDO, 2004).

Nas áreas de várzea, as sistematizações do solo apresentam benefícios devido ao nivelamento do solo favorecendo o manejo da lavoura, menor uso de mão de obra, uma lamina de irrigação mais uniforme, maior facilidade de controle de plantas daninhas e menor incidência de pragas e doenças reduzindo custos, porém, para se realizar este processo é necessário realizar cortes nas áreas com maiores cotas e colocar o solo proveniente destes cortes nas áreas de menores cotas, nas áreas de corte tem como desvantagem a geração de áreas de baixa fertilidade e com toxidez por ferro e alumínio devido ao deslocamento parcial ou por vezes total do Horizonte A, já no aterro pode ocorrer uma maior incidência de pragas e de doenças e também o acamamento da cultura devido ao desequilíbrio químico e físico causado no solo, outro fator também importante a ser considerado é o alto custo inicial de nivelamento do solo (SOSBAI, 2012).

A introdução da cultura da soja no sistema de várzea vem aumentar ainda mais a complexidade deste ambiente em função da mudança no manejo do solo,

partindo de um ambiente inicialmente de solo inundado em praticamente todo o ciclo da cultura arroz e normalmente em boa parte da área durante o período da entre safra para um ambiente obrigatoriamente drenado para a cultura da soja, devido a essas alterações do sistema temos diferentes reações químicas em função de alteração no pH e disponibilidade de P e K, físicas em função da aeração do solo e biológicas alterando a população de microorganismos, proporcionando uma dinâmica de disponibilidade de nutrientes diferente para a cultura da soja em relação ao arroz irrigado.

Para Gomes (2006), nas áreas de várzea com o cultivo de arroz irrigado podemos verificar o processo de redução provocado pelos microrganismos anaeróbios, o que provoca uma série de alterações químicas no solo. Estas transformações favorecem a disponibilidade dos nutrientes no solo, tanto os provenientes do material do solo, quanto os contidos nos fertilizantes, principalmente o P e K. Salienta também que ocorre a elevação do pH para valores entre 6,0 e 6,5, com a eliminação do alumínio trocável, isto explica porque o arroz irrigado sob inundação apresenta respostas menores do que as culturas de sequeiro à calagem e às adubações fosfatadas e potássicas. Por isso, é importante que no cultivo de espécies de sequeiro, em áreas de várzea seja dado à devida atenção à adubação em função da diferente dinâmica e disponibilidade de nutrientes no solo.

As técnicas de AP permitem que se possam integrar tecnologias de posicionamento global (GPS), com o conhecimento técnico já existente, podendo desta forma gerenciar detalhadamente cada unidade de produção de uma propriedade, ressalta ainda que sem um olhar criterioso das informações não se possa identificar as diferenças dentro de um mesmo talhão o que leva a acreditar que não há variabilidade de produção ou de fertilidade (SANTI, 2013).

O maior desafio para Machado et al. (2004), está justamente na quantificação e na integração destas variações espaço-temporais da produtividade das culturas, variáveis essas, associadas ao solo, ambiente e à planta, e condicionadas por mais de 54 fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento das culturas. Porém, sendo possível controlar alguns destes fatores devemos também ter maior controle nos custos e melhores resultados econômicos no sistema.

Assim, o primeiro ponto que se deve ter em mente, quando se objetiva manejar a variabilidade dos diferentes fatores envolvidos na produção agrícola, é saber que se precisa conviver com ela e entendê-la, sem pensar ser possível sua

eliminação, podendo apenas mapear e manejar a variabilidade de cada fator de interesse, diminuindo esta variabilidade (PIRES et al., 2004).

Para se alcançar altas produtividades agrícolas, é preciso identificar os fatores de produção que limitam o crescimento das plantas. Assim, com o uso da ferramenta de Mapeamento de Solo georreferenciado podem-se localizar as áreas com deficiência de atributos químicos e corrigi-los através de mapas de correção à taxa variável mais coerente que as adubações fixas realizadas pela média, de forma a favorecer e potencializar a produtividade e racionalizar o uso de fertilizantes (BERALDO, 2004).

Ainda Beraldo (2004), relata que a implantação da AP constitui uma ferramenta de grande potencialidade, pois proporciona ao agricultor o mapeamento do solo, a aplicação de insumos e as atividades de colheita, considerando a área de modo diferenciado, a fim de racionalizar o uso de insumos, visando um desenvolvimento sustentável.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tem a sua principal importância atribuída à aplicação de fertilizantes e corretivos em taxas variáveis (SILVA et al., 2007).

A desuniformidade espacial nessas áreas de manejo sugere um tratamento localizado, visando à economia pela minimização de insumos e/ou aumento de níveis de produtividade. O objetivo é obter uma prática agrícola mais eficiente com a otimização dos recursos causando menores danos ao ambiente. Com a adoção das técnicas e conceitos de AP surgem questionamentos sobre a interpretação de um grande volume de informações e principalmente de como analisá-las e usá-las para que auxiliem na tomada de decisão, frente à variabilidade espacial existente nas áreas agrícolas brasileiras (CARVALHO et al., 2001).

Para Amado & Giotto (2009), a AP pode ser definida como o gerenciamento localizado de plantas, animais e do solo, visando maior rentabilidade, rendimento econômico e preservação do meio através do uso localizado de fertilizantes em função da variabilidade espacial, este manejo nos permite aplicar a quantidade de fertilizantes no local e hora certas com a fonte mais adequada.

A AP é uma plataforma tecnológica extremamente importante para garantir a competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro. O processo de AP constitui-se de um conjunto de técnicas que permite uma melhor exploração dos sistemas produtivos melhorando o uso de insumos, e reduzindo os impactos

ambientais e, em consequência, melhorando os lucros e proporcionando uma gestão da atividade mais racional e eficiente (FILHO, 2011).

Para Rodrigues (2002), o objetivo principal da AP é manejar todo o conjunto de uma área particular cultivada de modo ótimo, de forma que os lucros sejam maximizados com menor impacto ao meio ambiente.

O objetivo da AP para Montiel (2011), é realizar um ciclo completo na agricultura que de acordo com Amado et al. (2006) este ciclo corresponde primeiramente a amostragem georreferenciadas do solo para geração de mapas dos atributos químicos analisados, após interpretação destas informações e recomendações de adubação em aplicações a taxa variável com geração e análise dos mapas da rastreabilidade, passando por um acompanhamento no ciclo de desenvolvimento das culturas, na geração de mapas de produtividade e as correlações entre os dados avaliados e por fim não menos importante na avaliação econômica para otimização dos custos do sistema de produção.

A questão mais importante evidenciada pela AP para Pires et al. (2004), é mostrar a variabilidade das áreas agrícolas e fazer com que sejam criadas alternativas de manejo que levem em consideração tal diversidade para a tomada de decisão em relação ao manejo a ser utilizado.

As técnicas de AP devem ser entendidas como um manejo que varia em relação aos locais da lavoura de forma sustentada, para poder diminuir os desperdícios no uso de insumos, reduzindo os danos ao ambiente a partir da utilização da AP como ferramenta (LEMAINSKI, 2007).

A proposta da AP é permitir fazer em áreas extensas o que os pequenos produtores tem feito em tratar as diferenças dentro de cada talhão e assim utilizar os conhecimentos gerados pelas ciências agrárias de maneira mais eficiente (MOLIN, 2012).

Para Lemainski (2007), áreas que possuem diferentes potenciais de rendimento, devido à heterogeneidade do solo, podem sinalizar a aplicação dos custos de forma variável, na tentativa de homogeneizar a produtividade e/ou reduzir custos para consequentemente aumentar a rentabilidade da atividade.

A AP vem se desenvolvendo a partir da necessidade de se considerar a variabilidade existente nas áreas de produção para buscar maior eficiência nos insumos que serão utilizados e também na redução de seus custos e uma redução dos danos ao meio ambiente (FILHO, 2009).

Conhecer a variabilidade espacial do solo que interfere na produtividade das culturas é um fator indispensável na implantação da AP, mínimas mudanças nos atributos do solo podem causar grandes diferenças na produtividade. Correlacionando estes atributos com a produtividade, podem-se obter os fatores que mais contribuem para explicar a produtividade e seu grau de importância (JAKOB, 1999).

Também como ferramenta têm os mapas de produtividade que podem confirmar com um grau de detalhamento maior que os mapas de fertilidade das áreas de manejo e suas respostas às intervenções da AP, porém, é preciso avaliar com atenção esta metodologia, pois a expressão da produtividade das lavouras não é apenas relacionada à adubação, mas sim em relação a muitos outros fatores como climáticos, físicos, químicos ou de manejo da lavoura.

No trabalho de Amado et al. (2006), relatam que com os mapas de rendimento é possível identificar as zonas com maior ou menor rendimento, buscando a identificação das possíveis causas que limitaram a produtividade da área. Também podemos usar os mapas de rendimento para avaliar as possíveis correlações entre os atributos do solo e os rendimentos alcançados. Estes mapas podem também serem utilizados para a indicação de reposição de nutrientes da exportação das culturas, uma vez que os níveis de fertilidade do solo já estejam acima dos teores críticos para máxima eficiência produtiva.

Assim, o processo da AP não é apenas o uso de uma técnica isolada, mas sim, um conjunto de técnicas e ferramentas que proporcionam a melhoria nas condições de variabilidade do solo, no seu resultado econômico e aos efeitos ao meio ambiente, passando por etapas distintas em seu desenvolvimento.

As etapas da AP consistem: identificação da variabilidade espacial e temporal; manejo da variabilidade e avaliação da AP de maneira econômica e ambiental (COELHO, 2005).

Já para a Lemainski (2013), o primeiro passo é a avaliação do tamanho da propriedade por meio do georreferenciamento das lavouras, fazendo um levantamento dos equipamentos tecnológicos disponíveis, capacidade de investimento do empreendimento e uma estimativa de retorno financeiro. É preciso definir as prioridades de melhorias, seja em fertilidade do solo ou de equipamentos, passando pela elaboração de mapas de fertilidade e compra de insumos e equipamentos com a tecnologia embarcada. O segundo passo é gerar um banco de

dados com todas as informações mapeadas para reavaliações e aperfeiçoamento dos processos em longo prazo.

Hoje já existe um bom número de profissionais de empresas privadas e cooperativas prestando serviço de geração de mapas de fertilidade para correção sitio específico do solo através de aplicações variáveis de corretivos e insumos no solo para áreas de sequeiro, porém para o ambiente de várzea ainda há poucas empresas habilitadas a trabalhar neste sistema, pela dificuldade de amostragem de solo e o baixo conhecimento técnico para orientação do mesmo.

Assim, é necessário que, no processo de implantação da AP para se ter resultados de caráter técnico e econômico, o processo passe pelo atendimento de algumas premissas básicas. Entre elas, a identificação da variabilidade através de coletas georreferenciadas com metodologia de qualidade, grids adequados aos sistemas de manejo, realizadas por profissionais com capacitação técnica e pela geração de mapas com qualidade para evitar erros na geração da informação. A aplicação de insumos a taxa variável deve ser realizada com equipamentos adequados com a calibração realizada para cada tipo de produto utilizando faixas de aplicação adequadas. Estes equipamentos devem estar com manutenção preventiva efetuada para poder ter a precisão esperada nas correções utilizadas. Também é fundamental a geração de mapas de rastreabilidade para confirmar a eficiência das aplicações de taxa variável na área. Além disso, é preciso um acompanhamento das lavouras por parte dos técnicos e dos produtores para que o processo possa ser avaliado periodicamente para toda vez que se fizer necessário sejam realizados ajustes nas próximas tomadas de decisão e ações.

3.3 Benefícios e vantagens econômicas da Agricultura de Precisão

Toda a vez que se busca novas tecnologias para qualquer setor de trabalho e em especial para a agricultura no uso de insumos para produção um dos principais objetivos é alcançar vantagens econômicas, ou seja, que estas alternativas proporcionem ganhos em relação a uma economia nos investimentos, maior produtividade na lavoura, melhor uso dos insumos e equipamentos já disponíveis na propriedade e no mercado, buscando estabilidade no tempo.

Conforme Resende & Vilela (2011), relatam em seu trabalho que a produtividade média das culturas no Brasil está muito abaixo da produção das áreas com adoção de boas práticas tecnológicas; assim, é necessário o uso de novas formas de manejo, que possam proporcionar aumentos na produtividade, e assim melhorar o aproveitamento dos recursos evitando prejuízos ao ambiente.

A adoção de práticas de manejo de maior precisão, que consideram a variabilidade, pode trazer uma maior expressão do potencial genético, na lavoura como um todo (PIRES et al., 2004).

A AP é uma técnica que proporciona benefícios em sua utilização, para Pires et al. (2004) pode-se ter melhor controle da área de cultivo pelo conhecimento da variação do rendimento de grãos, uso racional de insumos, menor impacto ambiental, melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo, do uso de insumos nas áreas de maior potencial com maior retorno do investimento, tendo um maior número de informações para as tomadas de decisão de manejo e a valorização da propriedade rural.

O principal benefício da AP é o uso eficiente dos insumos agrícolas, podendo ter outros benefícios como redução do custo por redução de uso de insumos, menor poluição da água e aumento da produtividade pelo uso mais eficiente de insumos (COSTA & GUILHOTO, 2012).

Para Bernardi et al. (2011), o uso das técnicas de AP para o manejo dos fatores de produção, otimiza o uso dos insumos, aumenta a renda e mantém a qualidade do ambiente, assim define como o manejo da variabilidade dos fatores de produção agrícola visando aumentar o benefício econômico e reduzir o impacto no meio ambiente.

O principal benefício da AP é o uso eficiente dos insumos agrícolas, assim se pode ter uma redução nos custos pela diminuição no uso dos insumos, redução na poluição da água e do ambiente e melhora no balanço de nutrientes (COSTA & GUILHOTO, 2012).

Os componentes principais para a AP são a associação e compreensão da variabilidade, depois usar o conhecimento para manejar esta informação, usando manejos localizados através de máquinas e equipamentos para correta distribuição dos insumos aplicados, e o mais importante segundo ele é que esse sistema deva recordar a eficiência das práticas para mostrar seu valor ao produtor (COELHO, 2005).

Segundo Durigon (2007), as técnicas empregadas em manejo localizado buscam a máxima utilização dos recursos utilizados na agricultura e, com isso, uma minimização dos custos associada a incrementos de produtividade, o que pode acarretar em um aumento na receita final da propriedade.

A aplicação localizada permite a priorização do investimento em insumos nas áreas em que o potencial de rendimento de grãos mostra-se mais efetivo, o que garante a possibilidade de maior retorno econômico (PIRES et al., 2004).

A eficiência, a sustentabilidade, a lucratividade e a produtividade são aspectos importantes a ser considerado nos processos produtivos agrícolas; assim, o correto uso dos recursos de produção, como os fertilizantes, permite uma maior eficiência nos resultados de produção (BORTOLON, 2005).

É importante para Pires et al. (2004), termos consciência de que os benefícios esperados com a AP são dependentes de fatores como variabilidade encontrada em cada área, tecnologia e soluções de manejo empregadas, entre outras. Como exemplo, podem-se ter lavouras em que seja necessário o aumento das aplicações de fertilizantes. Nessas lavouras que apresentam grande parte da área com baixa fertilidade, a redução da variabilidade e a obtenção de rendimento de grãos passarão pelo aumento de insumos para alcançarmos o potencial máximo da cultura.

Em função do aumento da competitividade na agricultura, a utilização de AP vem crescendo, com seu uso pode-se manejar melhor os insumos além de cuidar da preservação do meio ambiente. O uso da AP traz novas tecnologias que ajudam na gestão da propriedade como um todo, fazendo com que os produtores possam prestar mais atenção nos detalhes do manejo o que não era possível sem o uso da técnica e do conhecimento proporcionado pela AP (SANTI, 2013).

Machado et al. (2004), cita que a adoção dos conceitos técnicos para práticas de manejo em sítios específicos ou AP, tem influenciado em mudanças estruturais nos processos de geração de informação, na tomada de decisão quanto ao uso das tecnologias agrícolas, e no uso destas informação com finalidade agrícola. Esse avanço tecnológico por tornar a utilização mais racional de insumos, proporciona a possibilidade de preservar e rastrear a qualidade dos produtos agrícolas mostrando possibilidades reais de ganhos econômicos e benefícios ambientais deste conjunto de informações.

Não se questiona mais o potencial de benefícios que a AP proporciona aos agricultores, como informações sobre o solo, aplicação de insumos, visando à racionalização dos mesmos, porém relata também que com esta grande quantidade de informações, será preciso que os técnicos estejam mais bem preparados para interpretar estes dados e assim melhor orientar os produtores (WERNER, 2004).

Ressaltando a importância da reposição de nutrientes nos solos, Montiel (2011), relata que a não reposição dos nutrientes acarreta um saldo negativo no solo gerando degradação e diminuição das reservas e conseqüentemente a redução na fertilidade natural do solo. Ainda relata que balanços inadequados de fertilizantes causa uma redução na eficiência da recuperação de nutrientes pela cultura.

Para as culturas de sequeiro é sabido que a utilização de técnicas de AP possibilitam ganhos tanto pela redução de custos da correção como na adubação, com aumento de produtividade, assim é uma técnica que já possui validação e eficiência estudada nos trabalhos de vários autores.

Em seu trabalho Machado et al. (2004), relata que em relação à soja, cultura que exporta grandes quantidades de nutrientes das áreas de plantio, a recomendação georreferenciadas de adubos e corretivos assume importância pelo fato de as produtividades nos talhões serem niveladas pelo potencial produtivo de cada parte do terreno e pelo fato de esse tipo de manejo poder representar uma redução no custo da adubação, que atinge valores na faixa de 25 a 35% do custo total de produção da soja.

Segundo Pellegrino (2005), em seu experimento com cana de açúcar, a aplicação de P_2O_5 de forma localizada apresentou uma redução de aplicação de 71,5 %, considerando o preço do SPS, alcançou uma economia de R\$ 55,00 ha^{-1} . Já para K a redução foi de 8,9 % de K_2O em área total com uma redução de R\$17,00 ha^{-1} .

Comparando os resultados entre agricultura convencional (AC) e AP em pequenas áreas de cultivo, sua avaliação verificou a viabilidade econômica de aplicar às técnicas de manejo localizado na cultura da soja, obtendo uma economia de fertilizantes, e um aumento da produtividade, resultando em uma lucratividade de R\$ 72,05 ha^{-1} , já descontados os valores de aplicações à taxa variável, o que no estudo equivaleu a aproximadamente 227,4 kg ha^{-1} de soja, avaliou ainda que o retorno financeiro quando comparado AP x AC teve um incremento de 29% para o

primeiro, validando a utilização da AP nas áreas avaliadas no estudo (DELLAMEA, 2008).

Ainda Dellamea (2008), avaliou a economia no uso de fertilizantes em três áreas comerciais de soja totalizando 138 ha manejados com AP de produtores participantes do Projeto Aquarius, no comparativo entre uso de AP com o uso de AC pode medir uma redução na ordem de 33% na adubação para a cultura da soja avaliando os nutrientes P e K com média de 10% no incremento de produtividade o que correspondeu a um volume médio de 360 kg ha⁻¹ a mais de produção de soja nas áreas avaliadas ou R\$ 143,34 ha⁻¹ de rentabilidade naquele ano. Já para a cultura do milho, avaliando três áreas comerciais com um total de 96 ha, considerando também os nutrientes P e K, encontrou uma redução de 37% no uso dos fertilizantes com um aumento de 14% na produtividade equivalente a 1200 kg ha⁻¹ a mais de produção de milho ou R\$ 312,44 ha⁻¹ no ano do estudo.

Werner (2007), ressaltou no comparativo de AP com agricultura tradicional (AT) de quatro safras seguidas de soja na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, que a lucratividade foi de 36% e 32% para AP e AT, respectivamente, tendo a AP uma vantagem de 4% em lucratividade. Concluiu ainda para a avaliação, mesmo a AP tendo um custo de implantação de 17% maior devido aquisição de equipamentos, o custo de utilização de insumos foi 0,3% menor e a margem média favorável nas quatro safras foi de 18,4% correspondendo ao um total de 2,5 sacos de soja por hectare/ano a mais em relação a AT.

Na avaliação de Fiorin et al. (2011), os resultados econômicos de lavouras com AP em relação ao AC de produtores associados as cooperativas COTRIJUI, COTRIBÁ E COOPATRIGO, encontrou resultados positivos em todos os produtores avaliados, o retorno econômico médio na avaliação foi de 10,5% em relação a adubação convencional.

A avaliação de Durigon (2007), em arroz, sugere que o uso de calcário em taxa variável comparando ao uso em taxa fixa proporcionou economia na quantidade de calcário necessária para aplicação na taxa variável e que, mesmo com redução na aplicação de calcário, gerou um aumento na lucratividade de R\$ 102,10 ha⁻¹ equivalendo a 308 kg de arroz por ha.

O aumento do retorno econômico com AP pode ser realizado de três formas, aumentando a produção, aumentando a qualidade do produto e melhorando o uso dos recursos e insumos utilizados para a produção (INAMASU et al., 2011).

Para Coelho (2008), no Brasil em função do alto custo dos corretivos e fertilizantes, a ferramenta de AP está voltada para o manejo sítio-específico da fertilidade dos solos, visando maior eficiência na utilização destes, como redução de custos de produção. Esta técnica vem apresentando viabilidade para essas aplicações dos corretivos e das adubações, que são realizados por equipamentos de distribuição de produtos capazes de fazer as regulagens de aplicação automaticamente de acordo com os mapas de aplicação, sendo esses últimos elaborados de acordo com as informações da interpretação de análises química do solo.

É necessário que os produtores rurais e seus técnicos, a cada ano que passa se tornem mais competitivos e busquem obter maiores volumes de produção sem incrementos de novas áreas de plantio para atender a demanda crescente de alimentos pelo mundo. Isso torna necessária a utilização cada vez maior de fertilizantes e estes, por sua vez, devendo ser manejados de maneira a alcançar os melhores resultados econômicos; a ferramenta de AP via mapeamento de solo, permite, em função do atendimento pontual das necessidades de correção e adubação, racionalizarem a utilização destes insumos e cada vez mais ser eficiente no processo produtivo, aumentando a lucratividade e preservando o meio ambiente.

3.4 Aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável

O processo de implantação da AP passa por diversas etapas. Uma etapa muito importante é a aplicação dos corretivos e fertilizantes em taxa variável. De nada adianta todo um trabalho de levantamento de informações e de características do solo que influenciam na variabilidade da produtividade da lavoura, se o produtor não efetuar uma correção de maneira a minimizar estas variabilidades do solo.

Com a utilização de máquinas capazes de realizar a aplicação a taxa variável através do uso de controladores automáticos que, orientados pelo sistema de posicionamento geográfico (GPS), pode distribuir de forma localizada os corretivos e fertilizantes de maneira eficiente, ajustando a fertilidade da lavoura para um maior patamar produtivo.

Já existem disponível no mercado diversos controladores, capazes de realizar o gerenciamento da adubação a taxa variável, as aplicações são realizadas via informações das coordenadas de posicionamento e a dose dos produtos, através de arquivos previamente gerados pelos prestadores de serviços de acordo com os atributos de fertilidade, os controladores nos indicam posicionamento e área já aplicada facilitando o processo de trabalho. (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2009).

Segundo Amado et al. (2006), pode-se interferir nas áreas visando corrigir os atributos que estão limitando o rendimento, potencializando a produtividade das mesmas.

A aplicação de fertilizantes a taxas variáveis tem potencial para otimizar o uso de fertilizantes e minimizar os impactos negativos da atividade agrícola no ambiente (BERNARDI, et al., 2004).

Do ponto de vista econômico, as aplicações localizadas permitem um melhor investimento em insumos nas áreas com maior potencial de rendimento, garantindo a possibilidade de maior retorno econômico. Considerando os aspectos ambientais, a racionalização e/ou redução do uso de fertilizantes pode ser considerada como o principal benefício da adoção da AP (PIRES et al., 2004).

Todos os processos produtivos normalmente têm início, meio e fim. Para a AP é diferente, em função da enorme quantidade de informações que se pode medir e utilizar obtém-se um início na identificação das variabilidades da lavoura, meios de como fazer as intervenções e quais as formas de trabalho; porém, não se tem um fim, mas sim um crescimento no conhecimento, no desenvolvimento técnico e nas soluções de sustentabilidade dos sistemas agrícolas. A cada passo que se segue, sobe-se um degrau no conhecimento, sempre alicerçados nos passos anteriores, somando mais conhecimento e aumentando a segurança na resolução dos problemas que ocorrem em nossas lavouras e mantendo a sustentabilidade e a rentabilidade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação experimental foi conduzida pelo período de três anos consecutivos durante as safras 2010, 2011 e 2012 em uma área de lavoura comercial em ambiente de várzea baixas (Figura 3). Está localizada na Depressão Central do Rio Grande do Sul no Município de São Gabriel, com as coordenadas geográficas Latitude 30°35'4.98"S e Longitude 54°39'38.94"O, na propriedade Formosa Agropecuária de propriedade da Família de Sérgio Giuliani. O solo é classificado como tipo PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (EMBRAPA, 2006). O clima da região é do tipo "Cfa2" (subtropical úmido), de acordo com a classificação climática de Köppen, com precipitação média anual de 1434 mm e temperatura média anual de 19,3 °C, variando entre 13,7 °C a 24,9 °C.



Figura 3 – Localização do experimento.

A área experimental foi vetorizada com o uso de GPS de mão Garmin Legend representando 138 ha sendo a mesma dividida em dois talhões (Figura 4). O

primeiro com a dimensão de 74 ha no qual foi utilizado o mapeamento georreferenciado do solo como referência para as coletas de solo que posteriormente foram encaminhadas ao laboratório de análises químicas da Universidade Federal de Santa Maria. Com os resultados foram confeccionados os mapas de fertilidade, e a partir dos quais foram gerados os mapas de prescrição para realização das aplicações de taxa variável dos nutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

No segundo talhão que tem a dimensão de 64 ha foi realizado o mapeamento georreferenciado do solo para obtenção de mapas de fertilidade a fim de comparar os talhões. Neste talhão, o manejo de adubação foi realizado de acordo com a necessidade da cultura conforme manejo realizado na propriedade.



Figura 4 – Área do experimento com vetorização e divisão da área.

Fonte Google Earth®.

A frequência amostral utilizada para o mapeamento das áreas foi com detalhamento de um hectare (100mx100m), que compreende uma amostra composta de solo a cada hectare da lavoura (Figura 5).

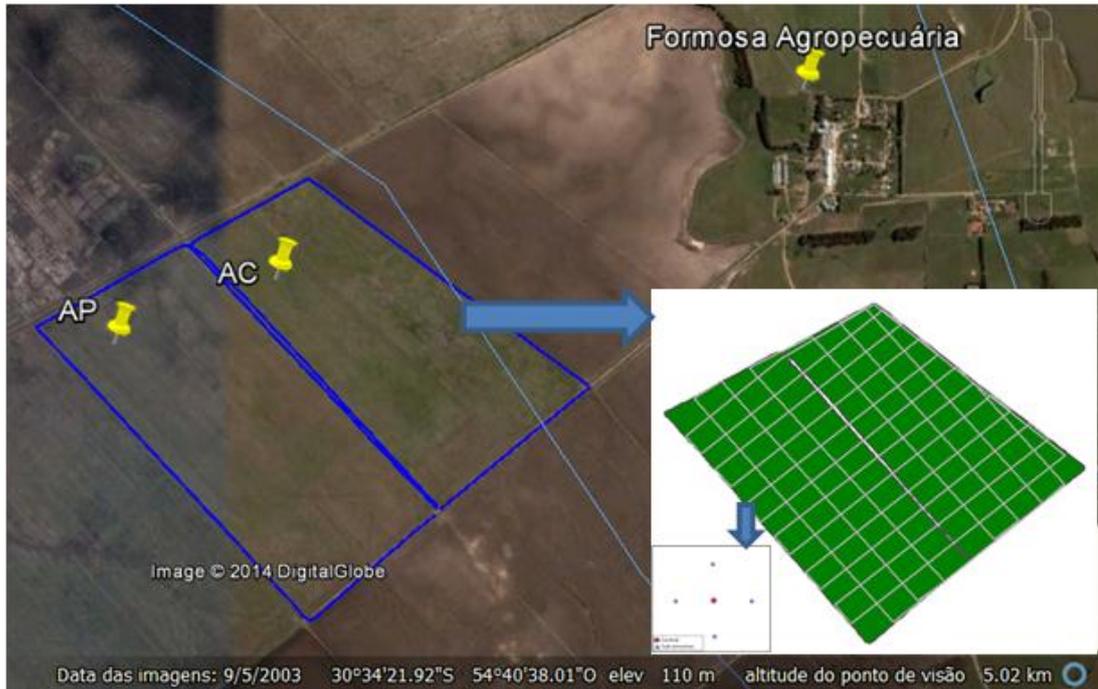


Figura 5 – Grade amostral da área experimental.

Abaixo temos a identificação da numeração dos pontos amostrais na grade de coleta de solo da lavoura (Figura 6).

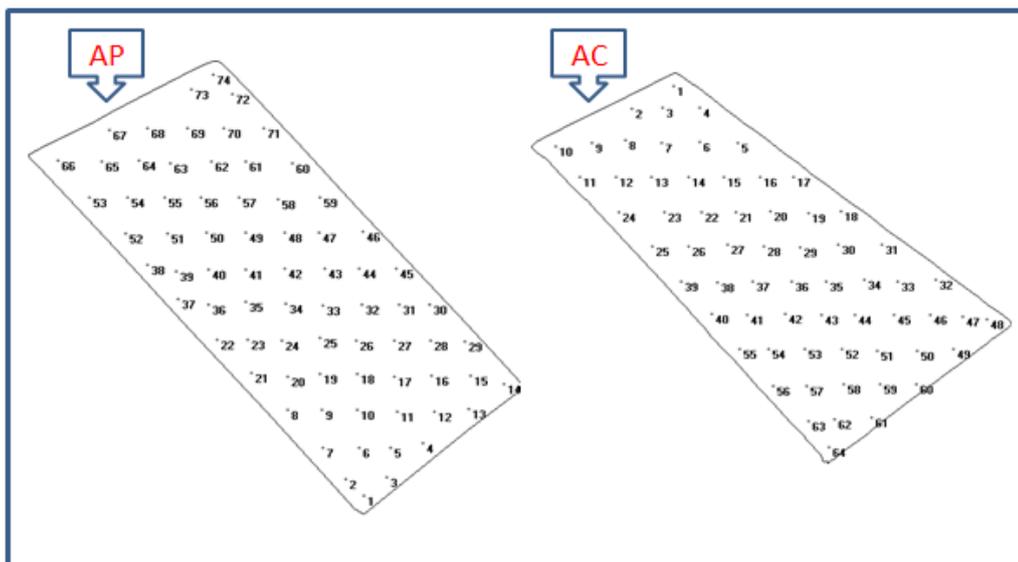


Figura 6 – Esquema de pontos na grade de coleta.

As coletas de solo foram compostas de 5 sub-amostras por ponto georreferenciado (Figura 7), e colocados num balde onde foram homogeneizados e embalado o volume de 0,4 kg. Após foram enviadas para o Laboratório de Análises de Solo da UFSM a fim de identificar os atributos químicos do solo.

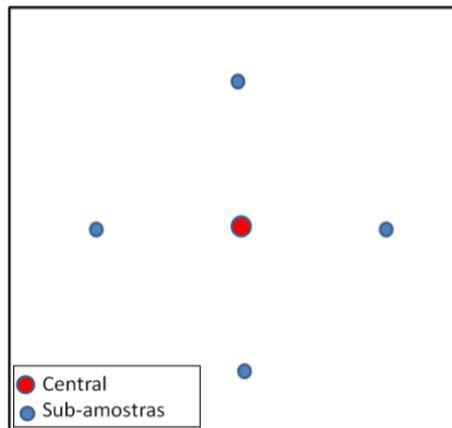


Figura 7 – Esquema da metodologia de amostragem e solo, 1 ponto central e mais 4 sub-amostras coletadas (Padrão Drakkar Solos Consultoria).

A amostragem de solo foi realizada de maneira padronizada na profundidade de 0,0 a 0,15 m com o auxílio de uma cavadeira adaptada (Figura 8) que possui lâmina de 0,10 m de largura e retira fatia de 0,02 m de espessura de solo



Figura 8 – Cavadeira utilizada na amostragem de solo (Padrão Drakkar Solos Consultoria).

Os resultados analíticos das amostras de solo foram utilizados para a geração dos mapas de atributos do solo: Argila (Ar), Matéria Orgânica (MO), Potencial de Hidrogênio (pH), Saturação de Alumínio, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Capacidade de troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases, Fósforo (P), Potássio (K), Saturação de Potássio, Enxofre (S), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (Bo), Manganês (Mn), com a utilização do Software Campeiro 6.0 (Figura 9 A) com um raio de alcance de 150 m e quadrículas de 5x5 m.

A partir dos dados de fertilidade foram gerados os mapas de prescrição para a aplicação em taxa variável pelo programa SMS (Spatial Management System™) (Figura 9 B).



Figura 9 – Imagem dos softwares utilizados no trabalho.

4.1 Manejo de correção de fertilizantes da área

A partir dos resultados das análises químicas temos os dados numéricos dos valores dos atributos de fertilidade em cada um dos pontos georreferenciado da lavoura do experimento. com o uso do Software Campeiro 6.0, foram gerados os mapas de fertilidade destes atributos que foram utilizados para as comparações das áreas. Após foi realizado a geração dos mapas de aplicação de N, e correção de P e K, que foram usados na área destinada a AP e também para as recomendações de adubação para as áreas de AC e AP nos três anos do trabalho.

As aplicações de N, P e K foram realizadas com o equipamento de aplicação a taxa variável Twister 1500/Stara APS (Figura 10 A). Vista da distribuição do nitrogênio (Figura 11 B).



Figura 10 – Twister 150/Stara APS e a aplicação de SFT, KCl e uréia.

4.1.1 Recomendação de correção de acidez do solo

A calagem é a prática de utilização de produtos corretivos de acidez, proporcionando as plantas um ambiente adequado para crescimento radicular pela diminuição dos elementos potencialmente tóxicos como alumínio, manganês e ferro, além do aumento da disponibilidade de nutrientes. Porém, em solos em que ocorre a inundação como no caso do arroz irrigado, o pH tem sua elevação de forma natural em função do processo de redução no solo, conhecido como autocalagem, este processo se estabiliza entre quatro e seis semanas após a inundação, de acordo com o tipo de solo (SOSBAI, 2012).

Segundo a Sosbai (2012), há necessidade de aplicação de corretivos quando os valores de saturação por bases forem menores que 65%. Assim a recomendação de calagem foi realizada em função do atributo de saturação por bases (Figura 11), conforme os resultados dos parâmetros químicos do solo.

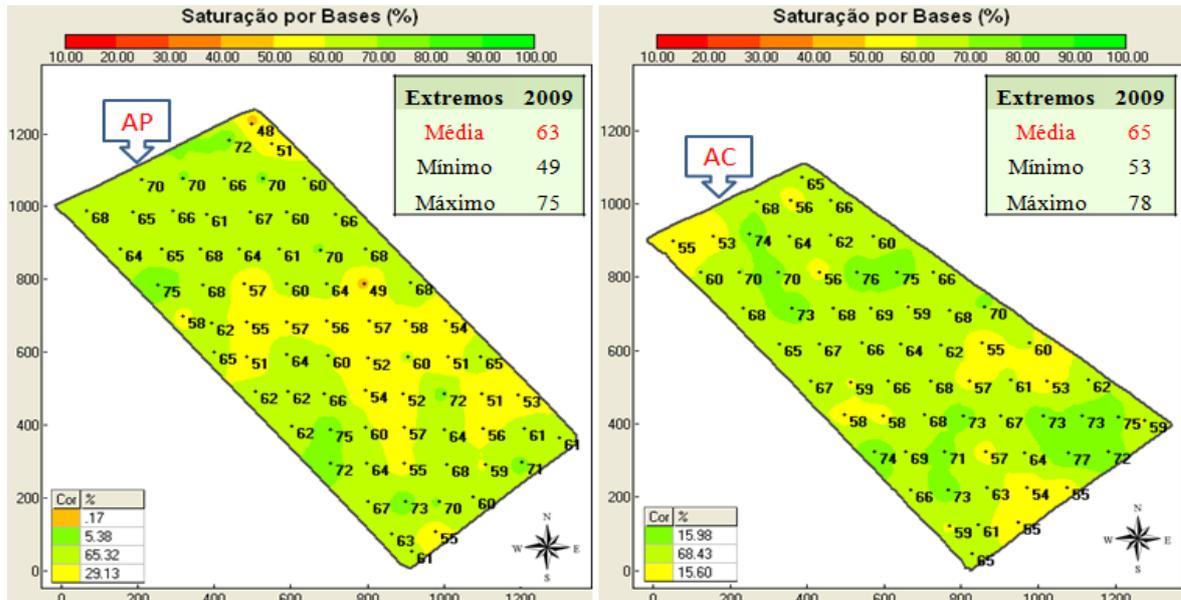


Figura 11 – Mapas de Saturação por Bases.

Conforme a saturação por bases, observamos que na área com AC temos a média de 65% de saturação por bases, por este motivo não foi aplicado calcário para correção das áreas.

4.1.2 Recomendação de correção de fósforo (P)

A recomendação de correção de fósforo é necessária para um bom fornecimento deste nutriente no solo, pois este tem funções de estimulação do crescimento e formação do sistema radicular no desenvolvimento das plantas pelo processo de traslocação dos nutrientes e pela produção de energia. Segundo a (SOSBAI, 2012), para os estados do RS e SC o nível crítico de P está dentro da faixa de 6,0 a 12,0 mg dm⁻³ para a condição de solos alagados (Tabela 1).

Tabela 1 – Interpretação da análise de fósforo (P) para fins de recomendação de adubação fosfatada para o arroz irrigado.

Interpretação do teor de P no solo	P extraído Mehlich (mg dm^{-3})
Baixo	≤ 3
Médio	3,1 a 6
Alto	6,1 a 12
Muito Alto	≥ 12

Fonte – SOSBAI (2012)

Conforme apresentamos nos mapas de fertilidade de fósforo (Figura 12), podemos observar a variabilidade do atributo, que serviu de parâmetro para a geração do mapa de correção de fósforo com SFT (superfosfato triplo) (46% de P_2O_5).

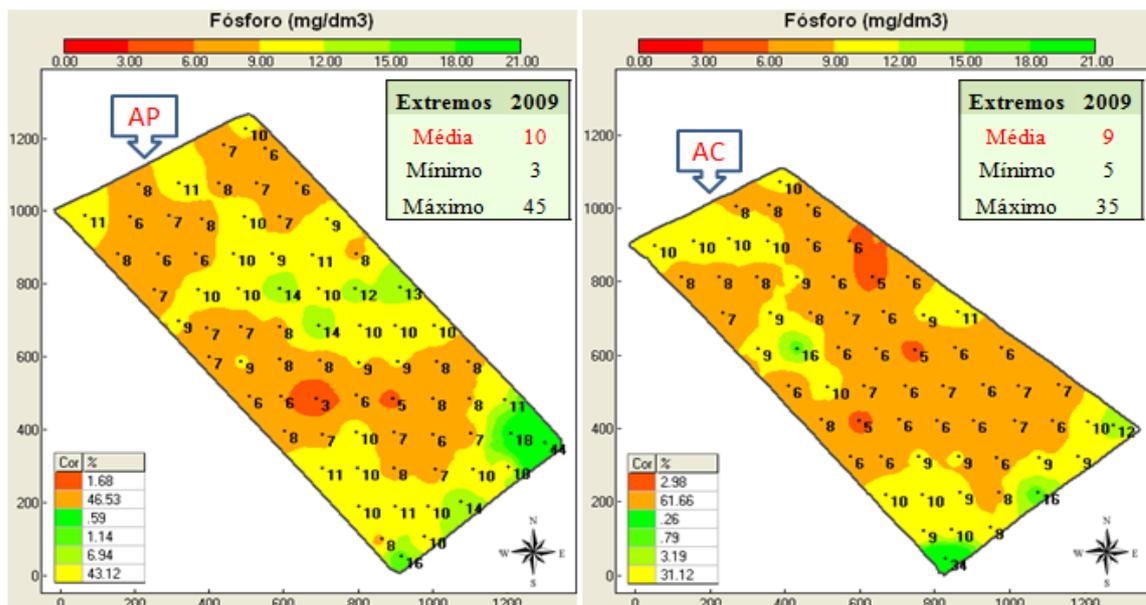


Figura 12 – Mapas de fertilidade de Fósforo.

Na Figura 13 temos os mapas de aplicação de P das áreas gerados para os níveis alcançar a meta de 9 mg dm^{-3} no solo, aplicado na área destinada a AP, o que corresponde a mediana da classe alta de interpretação deste nutriente.

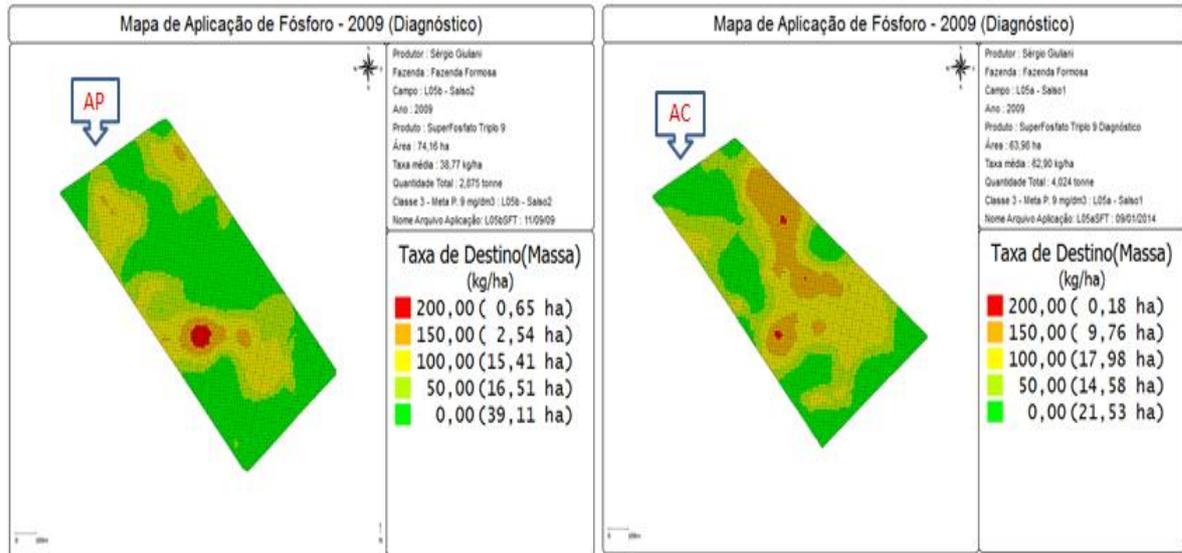


Figura 13 – Mapas de Aplicação à taxa variável de Fósforo.

4.1.3 Recomendação de correção de potássio (K)

O potássio é essencial ao desenvolvimento das culturas, sendo responsável pela regulação osmótica das plantas pelo controle da abertura e do fechamento dos estômatos, da constituição da parede celular auxiliando na resistência das plantas a acamamento e a insetos e doenças, na translocação de açúcares e no desenvolvimento e enchimento dos frutos e sementes.

A recomendação de K normalmente é realizada pelo nível do nutriente no solo, conforme as classes de CTC (Tabela 2), porém para as áreas de várzea trabalha-se com a saturação de potássio (Figura 16) conforme (ANGHINONI, I. et al., 2013) o nível de saturação adequado para o desenvolvimento e alcançar altas produtividades é de 2 a 3,5% de K na CTC total a pH₇.

Tabela 2 – Interpretação da análise de potássio (K) para fins de recomendação de adubação potássica no arroz irrigado.

Interpretação do teor de K no solo	CTC _{pH 7} – cmol _c dm ⁻³		
	< 5	5-15	>15
	----- K – Mg dm ⁻³ -----		
	-		
Baixo	≤ 30	≤ 40	≤ 60
Médio	31 a 45	41 a 60	61 a 90
Alto	46 a 90	61 a 120	91 a 180
Muito Alto	> 90	> 120	> 180

¹ Método de Mehlich 1. Fonte: SOSBAI (2012)

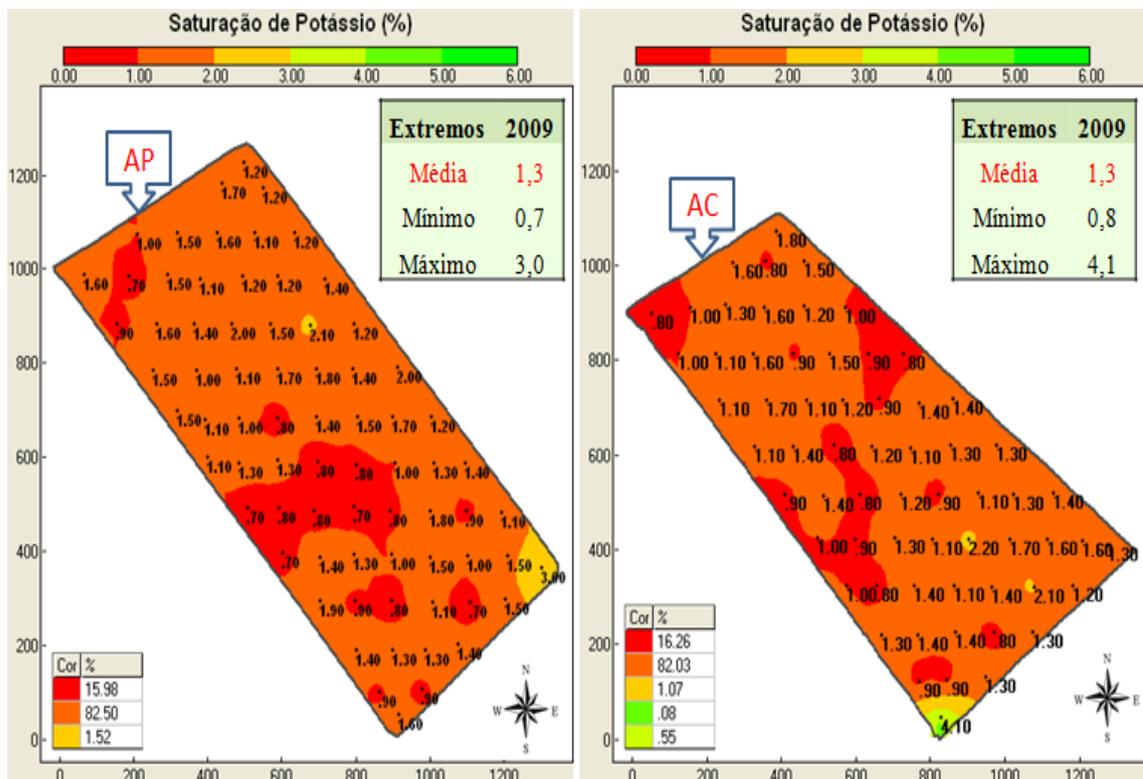


Figura 14 – Mapas de Saturação de Potássio (%).

Assim os mapas de aplicação de potássio (Figura 15) foram gerados com meta de correção parcial do solo para 1,5% de K na saturação. A correção foi efetuada utilizando-se 9 kg de K₂O para elevar 0,1 % de K na saturação (ACOSTA et al., 2010), com o uso de 70 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% de K₂O), variando de zero a 200 kg ha⁻¹, aplicados na área destinada a AP do experimento.

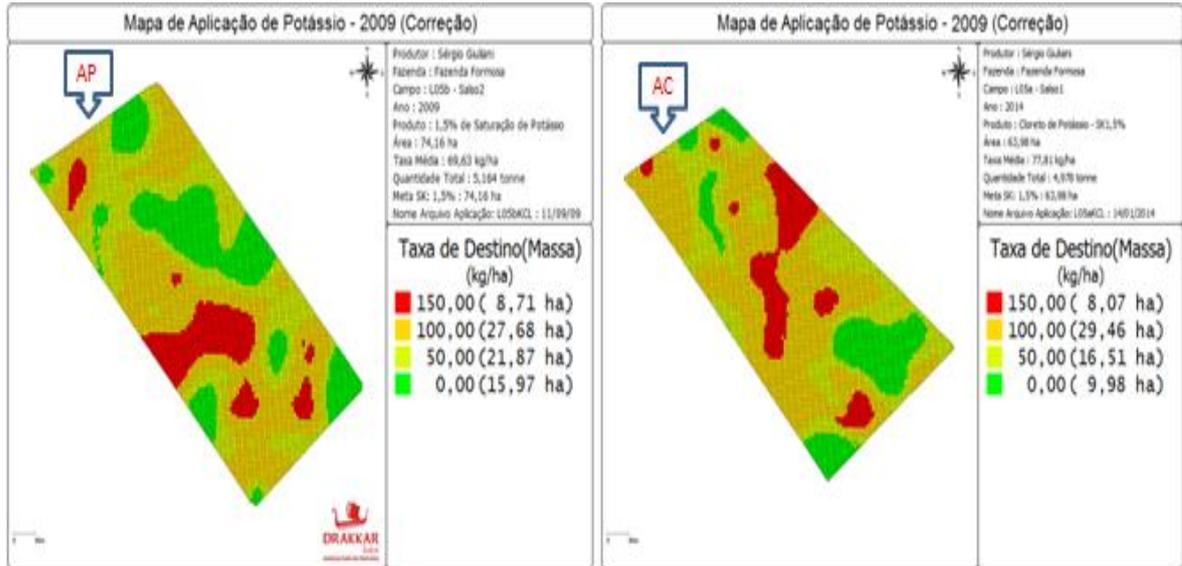


Figura 15 – Mapas de Aplicação de Potássio na CTC pH₇.

4.2 Manejo de adubação da área para as safras 2010, 2011 E 2012

Na Tabela 3, temos o manejo de adubação de acordo com a recomendação oficial para as culturas de arroz irrigado e soja, variedade utilizada para plantio, com suas expectativas de produtividades esperadas para o trabalho.

Tabela 3 – Manejo de adubação para as 3 safras.

	-----SAFRAS-----					
	2010 – Arroz		2011 – Soja		2012 – Arroz	
Variedade	Avaxi CL/Ricetec		BMX Titan RR		IRGA 424	
Produtividade esperada	10.000 Kg ha ⁻¹		3.600 Kg ha ⁻¹		11.000 Kg ha ⁻¹	
Manejo	AP	AC	AP	AC	AP	AC
Produtos	-----Kg de N/ha-----					
SFT	39	0	107	84	0	0
KCI	120*	0	0	0	90	90
DAP	120	0	0	0	130	130
05-20-30	0	200	230	230	0	0
Uréia 1ª Aplicação	238*	190	0	0	254*	250
Uréia 2ª Aplicação	60	60	0	0	70	70

* Aplicação em taxa variável

4.2.1 Manejo de adubação nitrogenada (N)

O nitrogênio (N) é fundamental para a produção do arroz irrigado, a aplicação de N é efetuada de acordo com o teor de matéria orgânica no solo (MO) (Figura 17) em função da expectativa de rendimento da cultura (Tabela 4) (SOSBAI, 2012).

Para cada tonelada de grãos de expectativa de produção foi usado como referência à adubação de 14 kg de N para a cultura do arroz irrigado (COMISSÃO... 2004).

A utilização de N foi realizada em duas aplicações com o uso de uréia (45% N), a primeira com maior quantidade antes da entrada da água de irrigação entre 21 a 28 dias após a emergência da cultura ($V_3 - V_4$), esta dose corresponde ao maior volume de aplicação em função do melhor aproveitamento do N aplicado em solo seco e para definição do potencial produtivo do arroz irrigado. A segunda aplicação foi realizada entre os estádios vegetativos R_0 (iniciação da panícula ou ponto de algodão) / R_1 (diferenciação da panícula) com o restante da dose da necessidade da cultura (SOSBAI 2012).

Tabela 4 – Recomendação de adubação nitrogenada para o arroz irrigado.

Teor de matéria orgânica do solo	Nitrogênio		
	Expectativa de Rendimento (t/Ha)		
	<6	6 a 9	>9
%	-----Kg de N/ha-----		
≤ 2,5	60	90	120
2,5 – 5,0	50	80	110
> 5,0	≥ 40	≥ 70	≥ 110

Fonte Comissão... (2004).

Podemos observar na área do experimento uma variabilidade alta de MO (Figura 16), na área com AC a média é de 2,8% de um mínimo 1,7 ao máximo de 3,8. Já a área de AP teve uma variabilidade de 1,6 de mínimo variando até 3,7 de máximo com média de 2,7%.

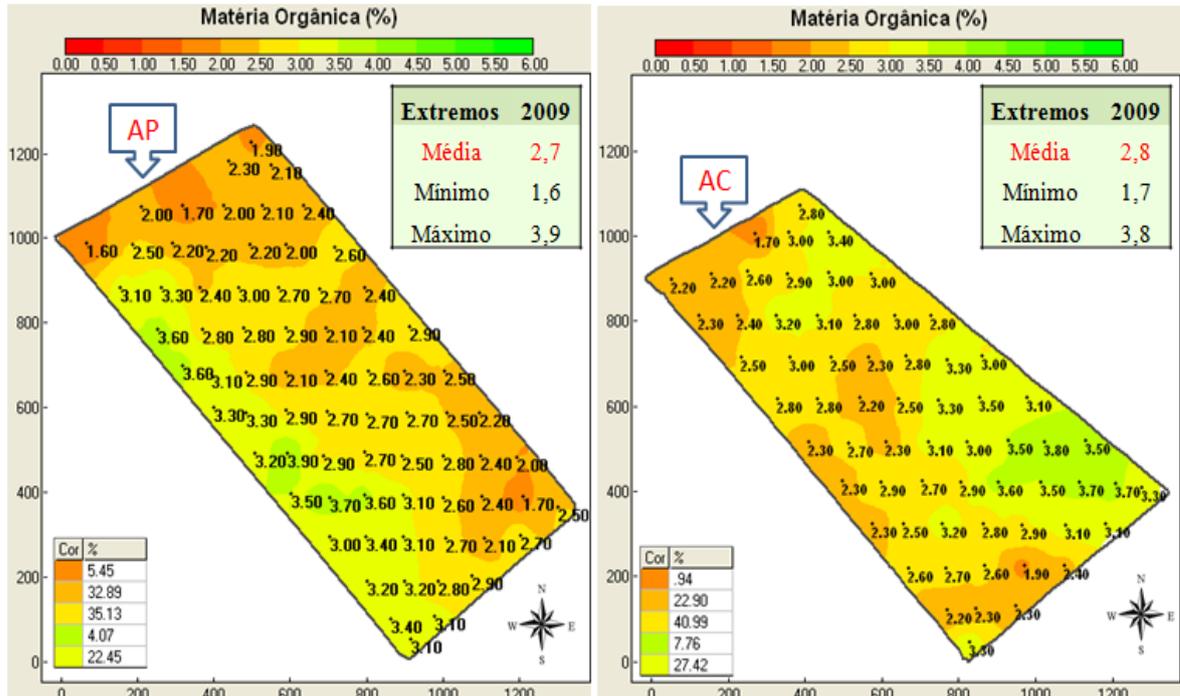


Figura 16 – Mapas de matéria orgânica do solo.

4.2.1.1 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2010 área com AP

A primeira aplicação de uréia (45% N) foi realizada de acordo com a necessidade da cultura em taxa variável conforme o mapa de aplicação (Figura 17), a lanço na quantidade de 238 kg ha^{-1} de uréia de média variando de 110 kg ha^{-1} até 350 kg ha^{-1} , aplicado no perfilhamento (V_3/V_4) antes da entrada da água de irrigação. A segunda aplicação Ureia (45% N) foi realizada em taxa fixa de 60 kg ha^{-1} de média na diferenciação do primórdio floral (R_0/R_1), conforme a necessidade de N pela expectativa de produção.

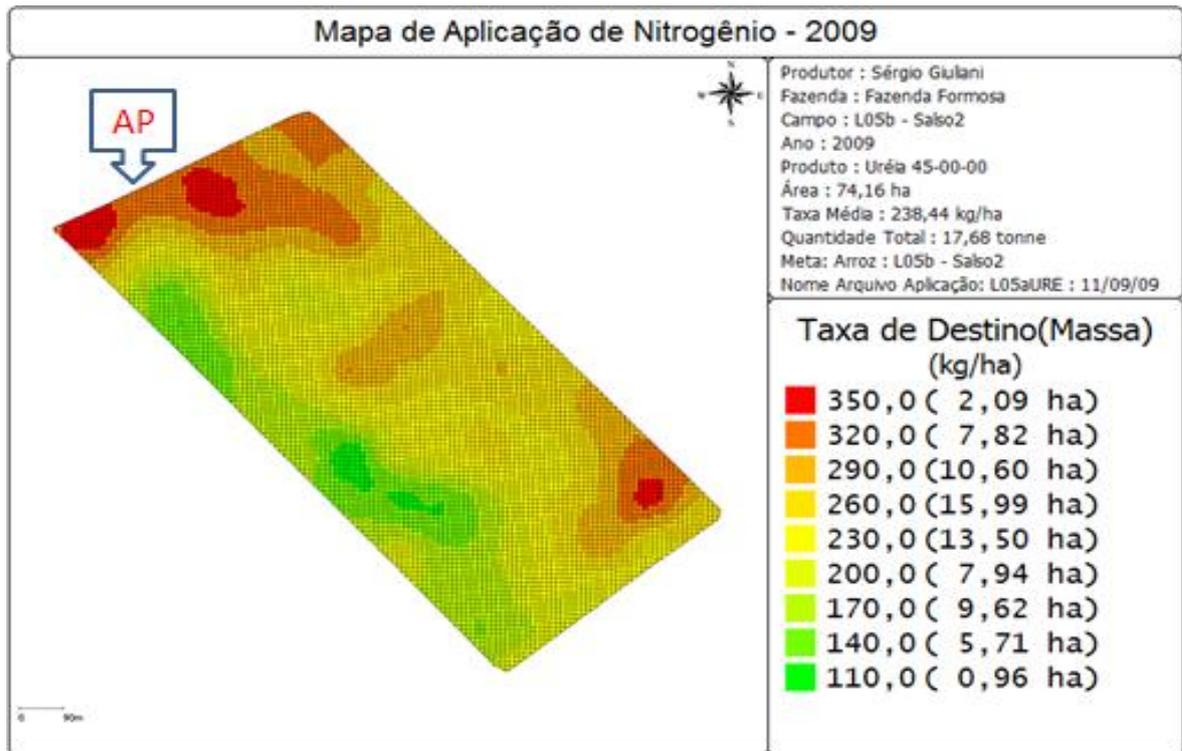


Figura 17 – Mapas de aplicação de uréia.

4.2.1.2 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2010 área com AC

A primeira aplicação de uréia foi realizada de acordo com a necessidade da cultura em taxa fixa, a lanço na quantidade de 190 kg ha^{-1} de uréia de média antes da entrada da água de irrigação (V_3/V_4), utilizando-se 14 kg de N por tonelada de expectativa de produtividade de grãos (COMISSÃO... 2004). A segunda aplicação de uréia em taxa fixa de 60 kg ha^{-1} de média na diferenciação do primórdio floral (R_0/R_1).

4.2.1.3 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2012 área com AP

A primeira aplicação de uréia foi realizada de acordo com a necessidade da cultura em taxa variável (Figura 18) a lanço de 254 kg ha^{-1} de média variando de mínimo 110 kg ha^{-1} até máximo 350 kg ha^{-1} , aplicado antes da entrada da água

(V_3/V_4), (Figura 16) na área com AP. A segunda aplicação de uréia em taxa fixa de 70 kg ha^{-1} de média na diferenciação do primórdio floral (R_0/R_1).

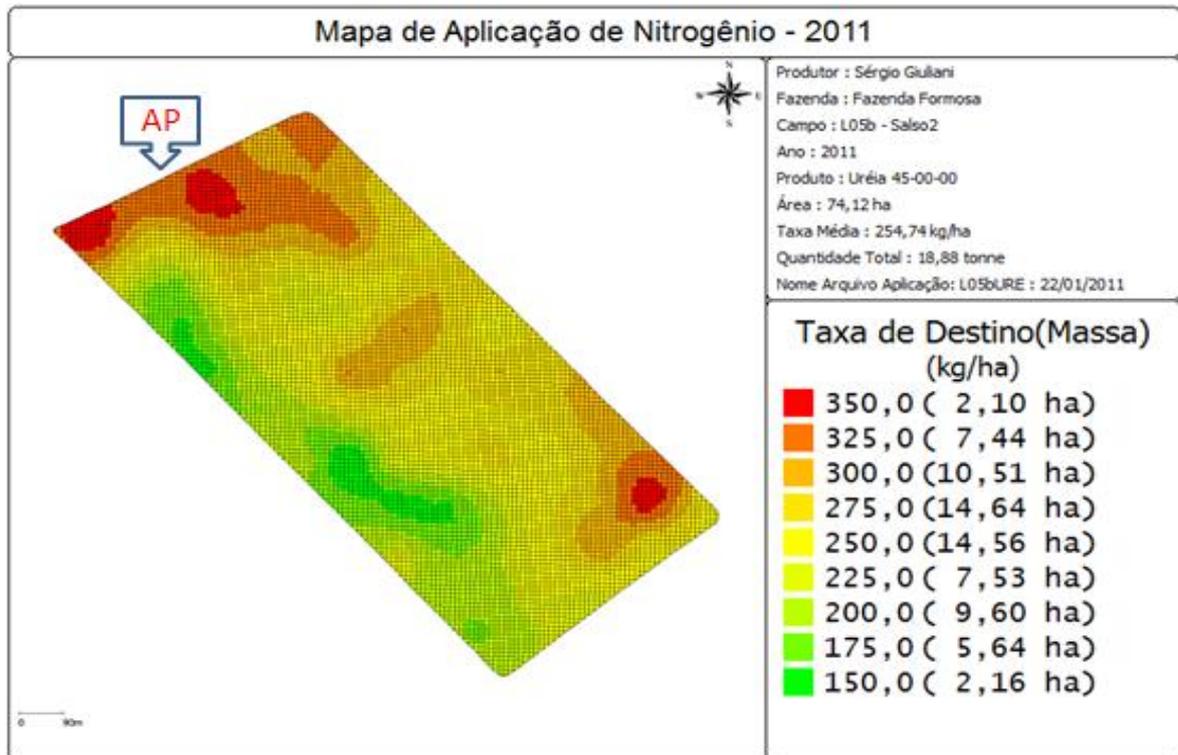


Figura 18 – Mapas de aplicação de uréia.

4.2.1.4 Aplicação nitrogenada de cobertura safra 2012 área com AC

A primeira aplicação de uréia foi realizada de acordo com a necessidade da cultura em taxa fixa a lanço de 250 kg ha^{-1} de média, aplicado antes da entrada da água (V_3/V_4). A segunda aplicação de uréia em taxa fixa de 70 kg ha^{-1} de média na diferenciação do primórdio floral (R_0/R_1).

4.3 Procedimento de colheita das safras 2010, 2011 e 2012

A colheita do experimento foi realizada com 2 colheitadeiras MF34, equipadas com sistema FieldStar (AGCO®), sensores de rendimento e umidade dos grãos. Ambas as máquinas foram pré-calibradas em área adjacente e proporcionaram informações georreferenciadas da produtividade que foram processadas através do Software Ag Leader SMS Advanced. Os atributos de fertilidade do solo e a produtividade de ambas as áreas foram comparados entre si por estatística descritiva e ponto-a-ponto em um raio de 15 a 20 m através de Correlação de Pearson.

Apresentamos na Figura 19 imagem da colheitadeira em arroz irrigado na safra 2010 e na soja na safra 2011.



Figura 19 – Colheita do arroz e de soja.

Para a colheita do ano de 2012, em função de problemas com arquivos não foi possível serem gerados os mapas de produtividade para esta safra, somente o registro das médias das áreas do experimento.

4.4 Balanço de nutrientes das áreas

Para o balanço de nutrientes foi usado às quantidades de fertilizantes aplicados para correção e manutenção nas culturas e as quantidades de extração do

arroz, soja e feno de acordo com suas produtividades, conforme as recomendações oficiais para as culturas (SOSBAI, 2012 e COMISSÃO... 2004).

A Tabela 5 apresenta segundo COMISSÃO... (2004) as quantidades de nutrientes extraídas por tonelada de grão das culturas utilizadas na avaliação, ou seja, são referentes à exportação de nutrientes do solo. Estes valores serão a referência para a realização do balanço de nutrientes das áreas discutidas.

Tabela 5 – Extração de Nutrientes por tonelada de grãos, COMISSÃO... (2004).

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Arroz	14	5	3
Soja	60	14	20

Fonte: COMISSÃO... (2004)

A Tabela 6 apresenta segundo Potafós, (2005) as quantidades de nutrientes extraídos por tonelada de palha da cultura do arroz irrigado. O feno foi enfardado após a colheita do arroz com a palha remanescente da lavoura, estes valores servirão de referência para o cálculo do balanço de nutrientes extraídos pela palha da área.

Tabela 6 – Extração de Nutrientes por tonelada de palha de arroz (POTAFÓS, 2005).

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Palha de Arroz	5	2,3	24

Fonte: POTAFÓS (2005)

Na tabela 7 é apresentado os valores da produtividade média de grãos de arroz e soja, e da produção média de feno na área do experimento nos três anos de avaliação.

Tabela 7 – Produção de grãos e feno das áreas das áreas.

	2010 Arroz		2011 Soja		2012 Arroz	
	AP	AC	AP	AC	AP	AC
Produção Kg ha ⁻¹	10.150	9.875	4.140	3.660	11.780	11.530
Feno Kg ha ⁻¹	2.600	2.600	0	0	2.600	2.600

Fonte: Formosa Agropecuária

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da fertilidade dos solos das áreas 2009

Os resultados obtidos em termos de variabilidade dos atributos químicos do solo mostraram variações entre 3 até 63%, considerando as duas áreas em estudo (Tabela 8). A área de AC (1) em que foi utilizado o manejo de adubação com doses fixas, foi a que apresentou menor variação do coeficiente médio (21,6%) em relação a área AP (2), a qual foi realizado manejo variável de adubação com (28,7%). Em ambas as áreas o pH foi o elemento com menor variação (2,9 e 3,7%, área 1 e 2, respectivamente). O fósforo foi o atributo que mais variou na área com AC, (44,7%), seguido potássio (37,5%). Já na área de AP, o atributo que mais variou foi o cobre (63,3%), seguido do fósforo (49,2%) e do boro (37,3%). A escolha da área para realização do experimento levou em consideração a variabilidade existente no solo.

Podemos observar que as áreas sendo vizinhas e ainda, sabendo que o produtor utiliza as mesmas adubações e manejos nas áreas, estas apresentaram uma grande variabilidade na área total, porém com homogeneidade na comparação entre os talhões, podendo desta forma ser realizado a avaliação na área. Ao compararmos as duas áreas, através da média numérica de cada atributo, dos 16 atributos relacionados, a área com AC tem 11 atributos com valores superiores, 2 atributos iguais e 3 atributos com valores inferiores, em relação à área de AP. (Tabela 8).

Em termos de fertilidade média e valores absolutos, ambas as áreas estão classificadas dentro da mesma faixa de recomendação da COMISSÃO... (2004), não havendo indicação de calagem e os teores médios de P e K são considerados altos para a cultura do arroz irrigado. Porém, quando avaliamos os pontos que apresentaram os valores mais baixos de P e K, ambos são considerados teores médios para a cultura e devido a estes valores é possível que tenhamos resposta produtiva à adubação localizada nestas áreas.

Tabela 8 – Comparativo dos atributos químicos do solo entre a área de Agricultura Convencional (AC) e a área de Agricultura de Precisão (AP) 2009.

Elementos e Parâmetros ¹	Área 1 – Agricultura Convencional					Área 2 – Agricultura de Precisão				
	Mín	Máx	Média	DP	CV%	Mín	Máx	Média	DP	CV%
Argila (%)	22,0	40,0	31,2	4,0	12,9	18,0	29,0	29,6	5,1	17,2
MOS (%)	1,7	3,8	2,8	0,5	16,6	1,6	3,9	2,7	0,5	19,2
pH	4,7	5,3	5,0	0,1	2,9	4,4	5,4	5,0	0,2	3,7
SA (%)	1,5	8,5	4,4	1,2	27,6	1,8	8,3	4,7	1,6	33,8
Ca (cmol _c dm ⁻³)	5,1	11,3	8,9	0,9	10,7	5,2	12,7	8,5	1,8	20,9
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,3	5,4	4,1	0,5	13,3	1,4	5,4	3,1	1,8	20,9
CTC (cmol _c dm ⁻³)	11,0	29,3	20,6	3,0	14,7	10,9	27,8	19,1	4,2	21,8
SB (%)	53,1	77,9	65,2	6,5	10,0	48,9	75,4	62,6	6,6	33,8
P (mg dm ⁻³)	5,3	34,5	8,8	3,9	44,7	3,0	44,6	9,8	4,9	49,4
K (mg/dm ⁻³)	56,0	320,0	101,4	38,1	37,5	56,0	212,0	91,5	27,4	29,4
SK (%)	0,8	4,1	1,3	0,5	37,2	0,7	3,0	1,3	0,4	31,8
S (mg dm ⁻³)	6,3	14,6	8,2	1,2	14,0	6,3	18,6	10,1	2,3	23,2
Zn (mg dm ⁻³)	2,6	9,7	4,4	0,9	20,7	2,1	7,5	4,1	1,1	28,0
Cu (mg dm ⁻³)	0,9	4,2	2,0	0,6	32,7	0,5	2,7	1,1	0,7	63,3
Bo (mg dm ⁻³)	0,2	0,5	0,4	0,1	21,1	0,1	0,5	0,3	0,1	37,3
Mn (mg dm ⁻³)	13,1	54,2	32,1	9,4	29,3	13,8	43,6	25,8	6,6	25,4
			Média		21,6			Média		28,7

¹ Conjunto de dados obtidos de análise estatística de 138 análises químicas: 65 amostras da área com AC e 73 amostras da área com AP.

² Diferença percentual entre a média de cada atributo químico do solo da área de AC em relação a área de AP.

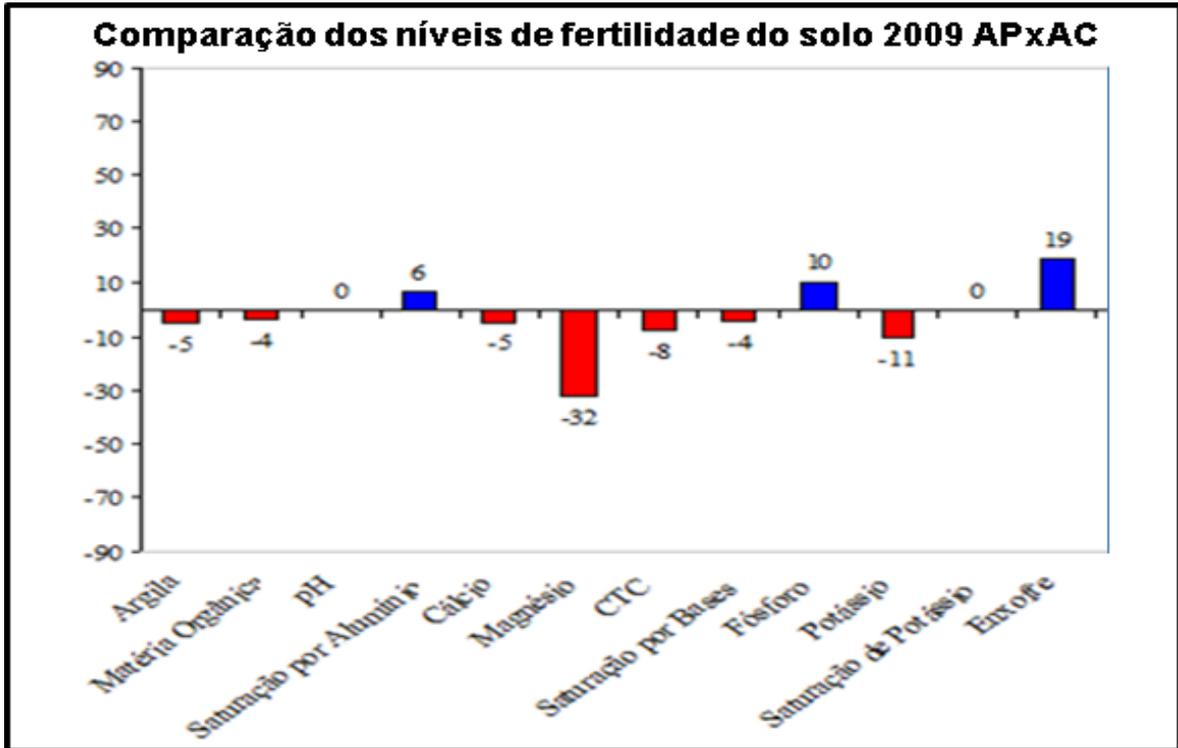


Figura 20 – Comparação dos níveis de fertilidade e a produtividade no Ano Agrícola de 2010.

Devido a uma maior variabilidade e menor fertilidade média apresentada na área 2 em relação a área 1 (Figura 20), esta foi escolhida para a utilização dos princípios e técnicas de AP. Assim, aplicações a taxas variáveis de N, P e K foram realizadas na área 2 buscando aumentar a eficiência da adubação, diminuir a variabilidade em relação a área 1 e, buscando aumentar a produtividade da mesma.

5.2 Resultado dos mapas de colheita

5.2.1 Avaliação safra 2010

Na safra de 2010 tivemos uma diferença de 3% (276 kg ha^{-1}) em produtividade de arroz a favor da área de AP. Podemos ver nos mapas de colheita da Figura 21 a distribuição da produção do cereal quando comparada com a área com AC.

A Figura 21 apresenta que a área de AC obteve 54,9% de sua área com produção acima da média esperada ($>10.000 \text{ kg ha}^{-1}$). Já para a área de AP temos 62,6% acima dessa expectativa. Temos também na área de AC com produtividade abaixo de 9.000 kg ha^{-1} de 14% da área, enquanto que na área de AP um percentual de apenas 6%. Esta diferença é um dos objetivos da correção com o uso de AP, manter as áreas de alta produção e reduzir as áreas com baixa produtividade.

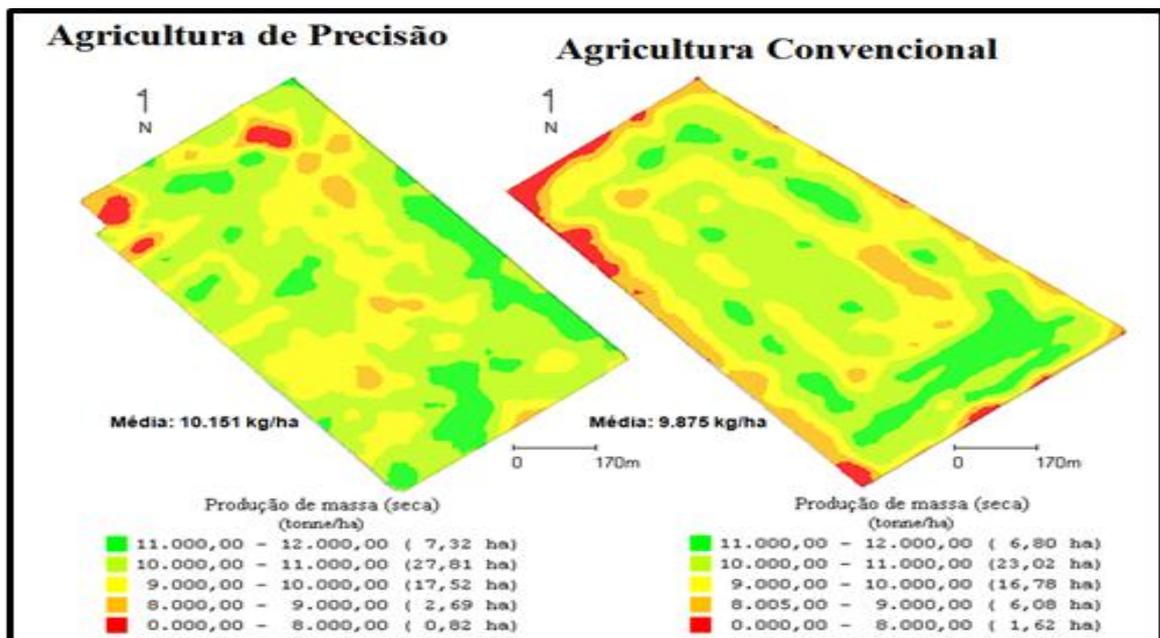


Figura 21 – Mapas de colheita da área de AP e da área de AC Safra 2010.

Abaixo é apresentado o comportamento de produtividade das duas áreas em relação à média de 10061 kg ha^{-1} (Figura 22). Assim foi dividido a área em três setores de produtividade, menor que 95% (em vermelho no mapa), entre 95 e 105% (em amarelo) e acima de 105% (em verde) em relação média da lavoura, denominadas áreas de baixa, média e alta produtividade respectivamente proposto por Molin (2002).

Podemos observar que a distribuição na área de AC tem 27% na baixa, 36% na média e 37% na alta produtividade. A distribuição das faixas para a área de AP tem 13% na baixa, 47% na média e 39% na alta produtividade. O uso da técnica proporcionou um aumento na produtividade e uma maior estabilidade para a área de

AP, diminuindo as áreas de baixa produtividade pela metade em relação à área de AC, nivelando a produtividade para a mediana da lavoura.

A partir dos mapas de colheita (Figura 21), foi possível avaliar as diferenças de produtividade em relação à média de produção (Figura 22), e a correlação entre a adubação variável de N, P e K, em relação ao incremento pontual de produtividade (Tabela 9).

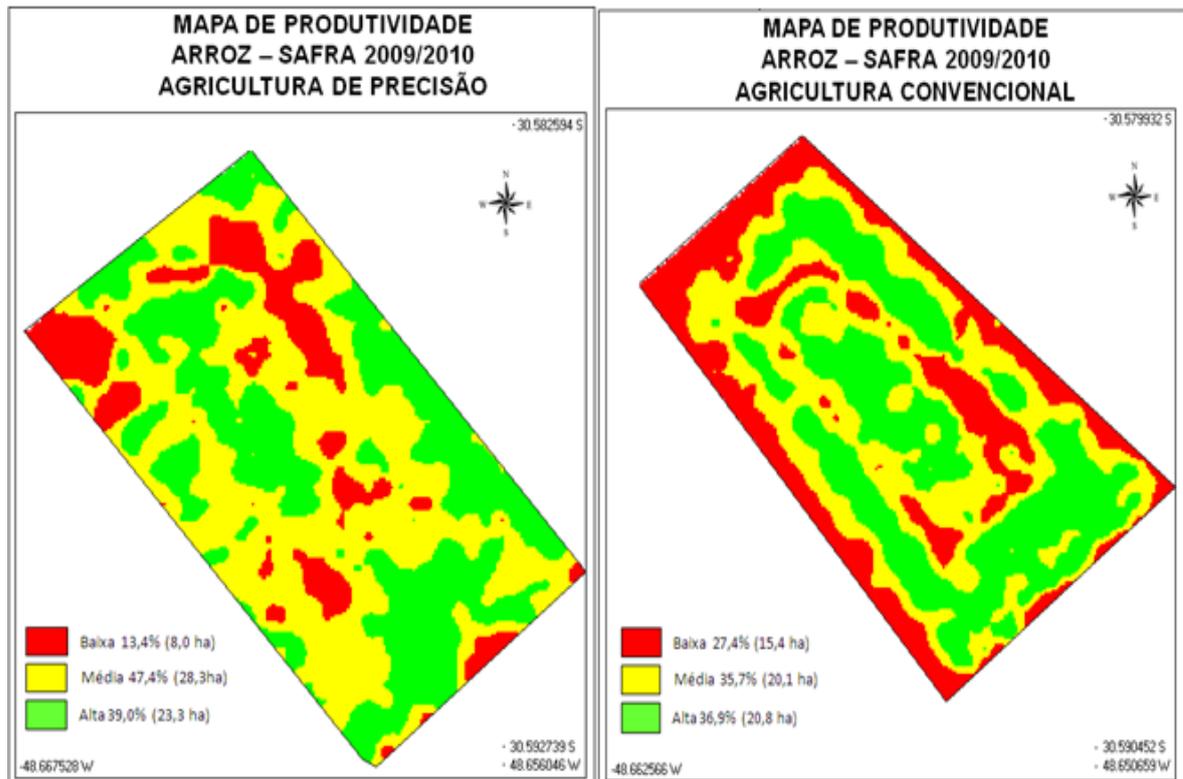


Figura 22 – Zonas de produção das lavouras de arroz safra 2010.

5.2.1.1 Correlação de produção com os nutrientes N, P e K aplicados à taxa variável safra 2010

Na Tabela 9 são apresentadas as correlações entre a produtividade da lavoura e os nutrientes utilizados a taxa variável, assim podemos observar que ocorreu correlações positivas à aplicação de N (0,24) e K (0,12) e negativa para o P (-0,03), mostrando para esta safra que o uso da taxa variável proporcionou incremento na produção da lavoura. Observa-se também alta correlação entre P e K.

Tabela 9 – Correlação de produção com N, P e K safra 2010.

		1	2	3
1	N (Uréia)	1		
2	P (SFT)	-0,09 ^{ns}	1	
3	K (KCl)	-0,03 ^{ns}	0,42 [*]	1
4	Produtividade	0,24 ^{***}	-0,03 ^{ns}	0,12 ^{ns}

^{ns} = não significativo; *, ** e *** = significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente.

5.2.2 Avaliação safra 2011

Na safra 2011 na avaliação do comparativo das áreas com AP e com AC na cultura da soja, foi obtido um incremento de produtividade na área com AP de 13% (480 kg ha⁻¹) em relação à área de AC (Figura 23), alcançando outro objetivo da AP de além de aumento na produtividade, também estabilidade temporal na lavoura.

Podemos observar no mapa de produtividade que a área com manejo de AP apresentou novamente uma maior produtividade em relação à área de AC, temos a produtividade na área com AC de 46% acima da expectativa de produção (3.600 kg ha⁻¹), enquanto na área de AP temos 89% da área acima deste valor.

A área de AC com valores abaixo da média total de produção de 3.902 kg ha⁻¹ representa 81% da área do talhão, já a área de AP abaixo da média representa apenas 50% do talhão.

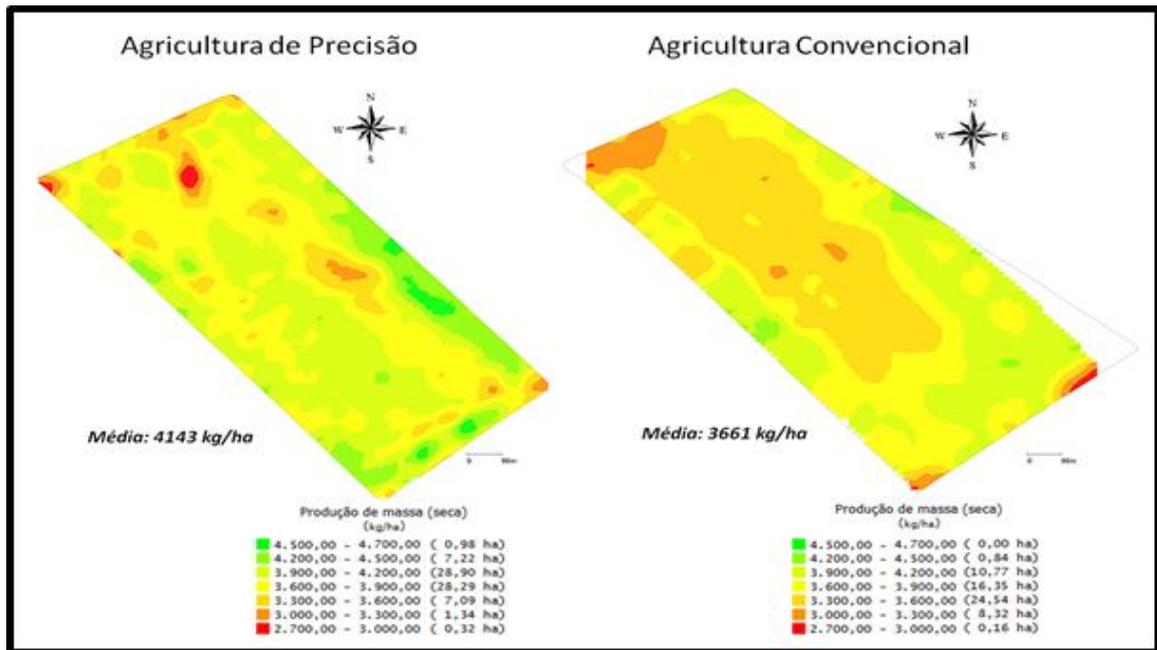


Figura 23 – Mapas de colheita da área de AP e da área de AC Safra 2011.

Abaixo é apresentado na Figura 24 comportamento de produtividade das duas áreas em relação à média de produção de 3.902 kg ha^{-1} . Novamente dividimos as áreas em três setores de produtividade, menor que 95% (em vermelho no mapa), entre 95 e 105% (em amarelo) e acima de 105% (em verde) em relação média da lavoura, denominadas áreas de baixa, média e alta produtividade respectivamente, proposta por Molin (2002).

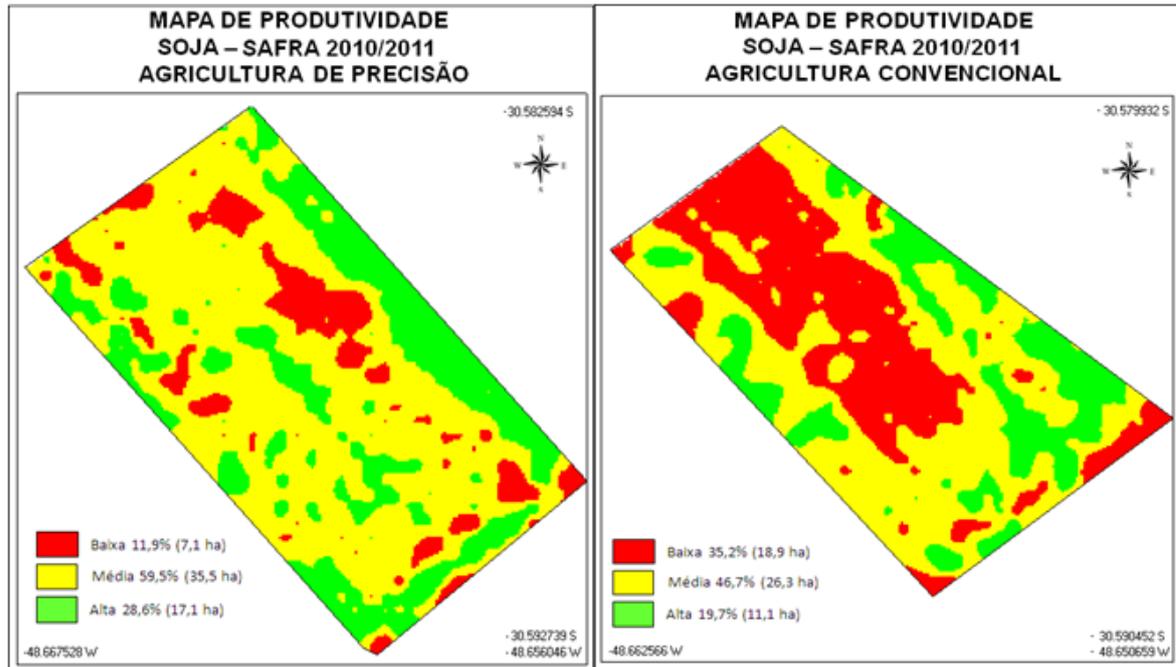


Figura 24 – Zonas de produção das lavouras de soja 2011.

Podemos observar que a distribuição na área de AC tem 33% na baixa, 47% na média e 20% na alta produtividade. A distribuição das faixas para a área de AP tem 12% na baixa, 59% na média e 29% na alta produtividade. Novamente o uso da técnica de AP proporcionou um aumento na produtividade e uma maior estabilidade para a área de AP, mantendo o nível da produtividade na média e na alta, e reduzindo ainda mais a faixa de baixa da lavoura.

5.2.3 Avaliação safra 2012

Para a safra 2012, devido a não possibilidade de utilização dos arquivos de produtividades não foi possível obter mapas de produtividade e as correlações conforme os anos anteriores. Temos apenas o valor absoluto de produção que ficou em $11.526 \text{ kg ha}^{-1}$ na área de AC e $11.782 \text{ kg ha}^{-1}$ na área de AP o que representa uma produtividade de 2,2% superior para a área de AP. Novamente a área de AP teve um melhor rendimento produtivo, salientando ainda mais a eficiência desta técnica de adubação para a produtividade do experimento.

5.2.4 Avaliação da produtividade em 2010 e 2011

Na Figura 25 apresenta o somatório das produtividades dos anos de 2010 e 2011, para avaliação das regiões produtivas da lavoura, pela sobreposição dos mapas de produtividade das safras. Assim novamente foi utilizada a metodologia de Molin (2002), dividindo a área em três setores de baixa, média e alta produtividade.

Assim é apresentado na área com AC 28% na baixa, 52% na média e 20% na faixa alta de produtividade. Na área de AP temos 14% na baixa, 59% na média e 27% na alta. Podemos ver que na área de AC ocorre uma área de baixa produtividade com o dobro do percentual em relação a área de AP. Temos a vantagem para a área de AP de 35% a mais de área com alta produtividade e 14% maior na área de média produtividade. Vemos o potencial da área mantido em duas safras conforme objetivo do trabalho de diminuir as áreas de baixa produtividade.

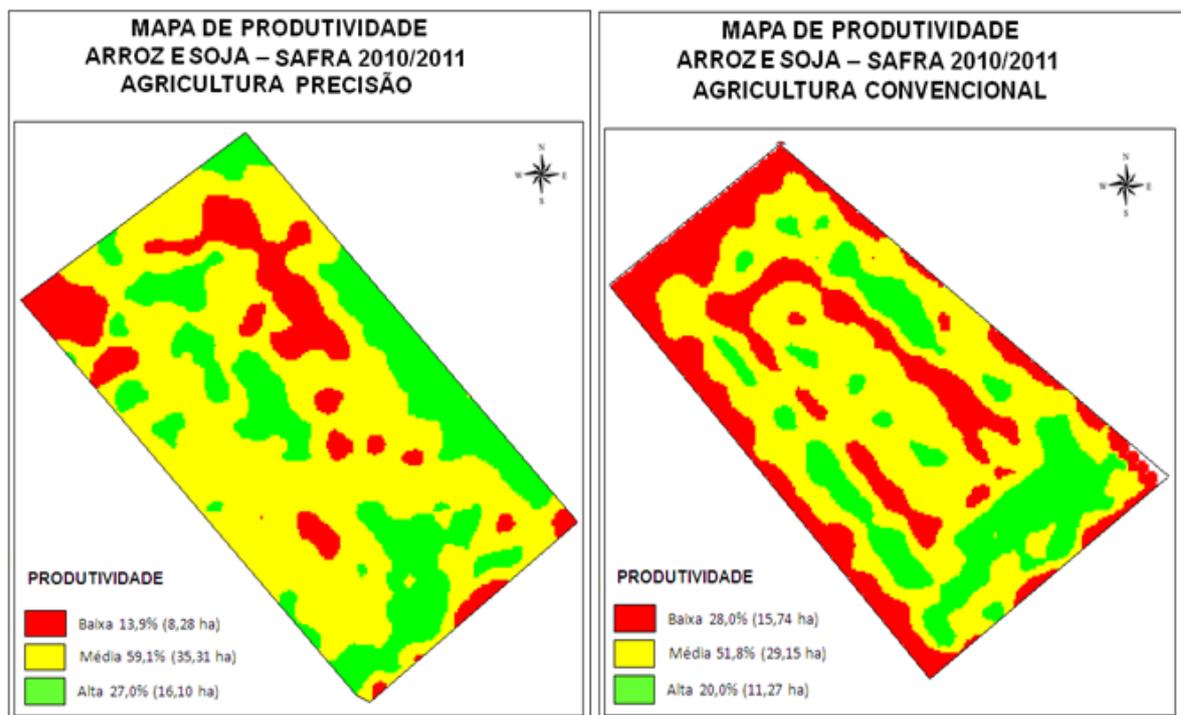


Figura 25 – Zonas de produção das lavouras de arroz e soja 2009/10 e 2010/11.

5.2.5 Comparativo de produtividade entre ACxAP 2010 e 2011

Para a safra 2010, observa-se no gráfico de produção de arroz da Figura 26, que a distribuição dos pontos de produtividade de 2010 na área de AP (representado pela linha azul) apresentam um maior número de hectares acima da mediana de produtividade e nota-se também na área de AP as áreas de mais baixa produtividade são reduzidas e as áreas de alta produtividade se mantiveram, considerando que utilizamos correção nas áreas de menor fertilidade o comportamento de produtividade pode ser justificado.

Já para a safra 2011, observa-se no gráfico de produção de soja da Figura 26 (representado pela linha azul), que a distribuição dos pontos de produtividade seguem o mesmo comportamento de 2009 com aumento da frequência na mediana da lavoura e ainda eleva as áreas de alta produtividade, também observamos uma redução nas áreas de baixa produtividade melhorando a estabilidade de produção.

Para a safra 2012, devido não termos resultados de colheita via mapas de colheita, assim não foi possível fazer esta mesma análise, somente relatar que nesta safra novamente a área de AP teve uma maior produtividade de grãos.

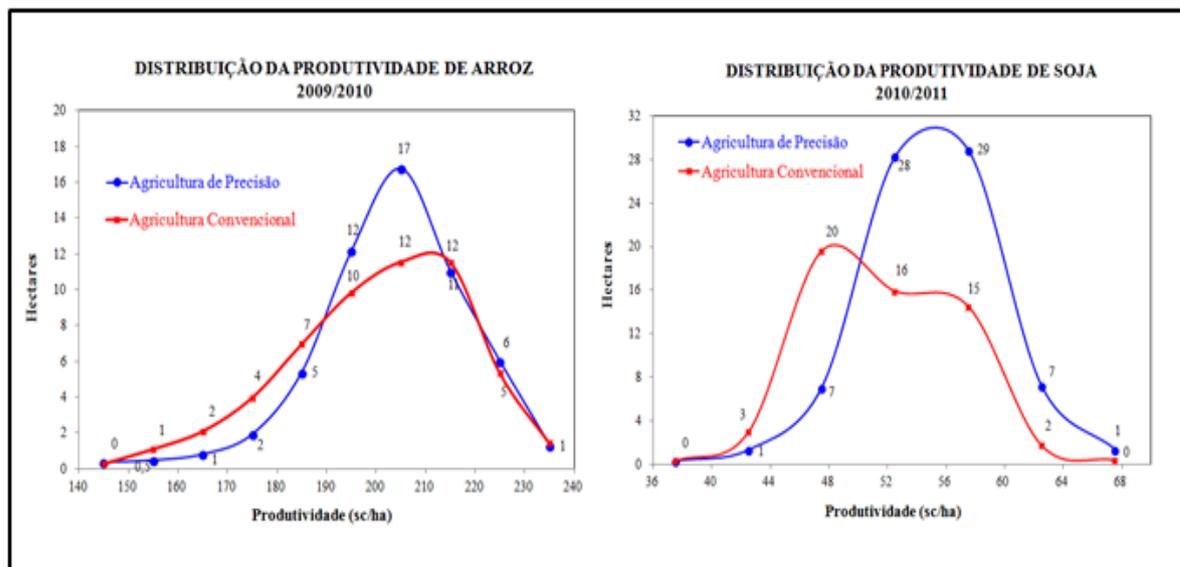


Figura 26 – Distribuição das produtividades dos mapas de colheita safra 2009/10 e safra 2010/11.

5.2.5.1 Correlação de produtividade com fósforo

Conforme a produtividade das áreas avaliadas nos três anos do experimento, obtivemos uma correlação negativa do fósforo com a produtividade de -0,28, o que representa uma relação entre os fatores, onde a produtividade foi favorecida pela extração de fósforo porém, com redução do nível deste nutriente no solo nas áreas de maior produção.

5.3 Balanço de nutrientes das áreas

As premissas da AP levam a avaliação do maior número de informações possível no campo, e assim com as informações das aplicações de insumos, produtividade e dos níveis de extração de nutrientes das plantas pode-se chegar ao balanço nutricional da área. Avaliam-se as entradas e saída de nutrientes para identificar as possíveis diferenças entre a aplicação e exportação de nutrientes, para que quando for necessário, sejam realizados os ajustes nas quantidades a serem aplicadas, proporcionando economia e maiores resultados em termos de redução na variabilidade do solo e aumento de produtividade.

5.3.1 Balanço total de nutrientes 2010, 2011 e 2012

Na Tabela 10 temos o somatório do balanço das três safras de trabalho, 2010 com adubação para a cultura arroz irrigado buscando o patamar de 10.000 kg ha⁻¹ de produção, 2011 com adubação para a cultura da soja com expectativa de 3.600 kg ha⁻¹ e 2012 novamente para a cultura do arroz irrigado com meta de 11.000 kg ha⁻¹ de produtividade.

Tabela 10 – Balanço total de nutrientes das safras 2010, 2011 e 2012.

	2010 Arroz, 2011 Soja e 2012 Arroz					
	Aplicado* kg ha ⁻¹		Extraído** kg ha ⁻¹		Balanço kg ha ⁻¹	
	AC	AP	AC	AP	AC	AP
P ₂ O ₅	184,4	228,0	170,2	182,4	14,2	45,6
K ₂ O	183,0	194,8	262,2	273,1	-79,2	-78,3

*Somatório das adubações dos três anos do trabalho; **Soma das extrações dos três anos do trabalho.

Assim temos para P na área de AC um saldo positivo de 14,2 kg ha⁻¹. Para a área de AP temos um saldo positivo de 45,6 kg ha⁻¹ o que corresponde a um incremento deste nutriente no solo.

Para o K houve na área de AC um saldo negativo de 79 kg ha⁻¹ o que corresponde a uma redução na saturação de K. Para a área de AP temos um saldo negativo de 78 kg ha⁻¹ também ocasionando redução na saturação de potássio na área. Este balanço negativo de K ocorreu devido a retirada de feno destas áreas, sem ser realizada a adubação de reposição de K para esta finalidade.

Podemos observar pelo balanço que as áreas de AP apresentaram maior produtividade e devido à correção de solo realizado no primeiro ano do trabalho temos um saldo melhor para fósforo em relação as área de AC, alcançando em parte o objetivo da melhoria dos níveis dos nutrientes no solo.

5.3.2 Balanço de nutrientes 2010

Para a safra 2010 a adubação foi realizada para expectativa de produtividade de 10.000 kg ha⁻¹ de grãos, na cultura do arroz irrigado conforme recomendações oficiais para a cultura (SOSBAI, 2012 e COMISSÃO... 2004).

Abaixo segue na Tabela 11 o balanço dos nutrientes aplicados para a expectativa de produção das culturas e as quantidades exportadas pela produtividade média da área do experimento pelas áreas de AC e AP. Nesta safra 2010 após a colheita foi realizado o enfardamento da palha de arroz, processo conhecido como fenação, foi feito aproximadamente 2.600 kg ha⁻¹ deste volumoso (média do produtor na propriedade).

Tabela 11 – Balanço de nutrientes 2010.

	Arroz 2010					
	Aplicado kg ha ⁻¹		Extraído kg ha ⁻¹		Balanço kg ha ⁻¹	
	AC	AP	AC*	AP**	AC	AP
P ₂ O ₅	40,0	73,0	55,4	59,4	-15,4	13,6
K ₂ O	60,0	71,8	92,0	92,9	-32,0	-21,1

*Referente à produção média de 9,875 ton de grãos (197,5 sacos) + 2,6 ton de feno da palha;

**Referente à produção média de 10,150 ton de grãos (203 sacos) + 2,6 ton de feno da palha.

5.3.3 Balanço de nutrientes 2011

A adubação utilizada na safra 2011 foi realizada de forma fixa de acordo com a necessidade da cultura para uma expectativa de produção de 3.600 kg ha⁻¹ de soja de acordo com as recomendações oficiais para a cultura (SOSBAI, 2012 e COMISSÃO... 2004). Segue a Tabela 12 com as quantidades aplicadas de nutrientes e a quantidade exportada pela média de produtividade das áreas.

Tabela 12 – Balanço de nutrientes 2011.

	Soja 2011					
	Aplicado kg ha ⁻¹		Extraído kg ha ⁻¹		Balanço kg ha ⁻¹	
	AC	AP	AC*	AP**	AC	AP
P ₂ O ₅	84,6	95,2	51,2	58,0	33,4	37,2
K ₂ O	69,0	69,0	73,2	82,8	-4,2	-13,8

*Referente à produtividade de 3,66 ton de grãos (61 sacos/ha); **Referente à produtividade de 4,14 ton de grãos (69 sacos/ha)

5.3.4 Balanço de nutrientes 2012

A adubação para a safra 2012 foi realizada para a necessidade de exportação da cultura para uma expectativa de 11.000 kg ha⁻¹ de grãos de arroz. Segue abaixo na Tabela 13 as quantidades de nutrientes aplicados na área e a quantidade de nutrientes exportados pelos grãos e pela retirada de feno da área.

Tabela 13 – Balanço de nutrientes 2012.

	Arroz 2012					
	Aplicado kg ha ⁻¹		Extraído kg ha ⁻¹		Balanço kg ha ⁻¹	
	AC	AP	AC*	AP**	AC	AP
P ₂ O ₅	59,8	59,8	63,6	65,0	-3,8	-5,2
K ₂ O	54,0	54,0	97,0	97,4	-43,0	-43,4

*Referente à produção de 11,53 ton de grãos (230,6 sacos) + 2,6 ton de feno da palha do arroz.

**Referente à produção de 11,78 ton de grãos (235,6 sacos) + 2,6 ton de feno da palha do arroz.

Em função da produção das duas áreas terem apresentando resultados acima da expectativa de adubação o balanço de adubação gerou saldo negativo de acordo com as recomendações de adubação e a exportações dos nutrientes (SOSBAI 2012 e ROLAS... 2004)

5.4 Avaliação econômica simplificada das safras

5.4.1 Avaliação econômica simplificada safra 2010; 2011 e 2012

O resultado total da análise parcial de lucratividade nos proporcionou os valores conforme a Tabela 14 pode-se observar que temos um custo maior de R\$ 171,92/ha, porém este maior custo foi compensado com a maior produtividade alcançada nos três anos do trabalho, 3%, 13% e 2,2% respectivamente, este maior rendimento, proporcionou uma diferença de R\$ 489,15 na lucratividade da área de AP, mostrando a eficiência da técnica para as condições deste trabalho.

Tabela 14 – Adubação, Produtividade e análise econômica parcial das safras 2010, 2011 e 2012.

		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Custo Adubação ²	Produtividade	Rentabilidade ³
		----- kg ha ⁻¹ -----			---- R\$ ha ⁻¹ ----	---- Kg ha ⁻¹ ----	---- R\$ ha ⁻¹ ----
2009	AC ¹	122,5	40,0	60,0	426,50	9.875	-
	AP ¹	155,7	73,0	71,8	573,35 (+34,5%) ²	10.151 (+3%)	+18,75
2010	AC	11,5	90,6	69,0	310,72	3660	-
	AP	11,5	101,2	69,0	329,67 (+6%)	4140 (+13%)	+338,33
2011	AC	166,0	59,8	54,0	583,31	11526	-
	AP	167,4	59,8	54,0	589,43 (+1%)	11782 (+2,2%)	+132,07
Total	AC	300,00	190,4	183,0	1320,53	25061	-
	AP	334,06	234,0	194,8	1492,45	26073 (+4%)	+489,15

Valores Safras 2009/10; 2010/11 e 2011/12;

¹ AC – Agricultura Convencional e AP – Agricultura de Precisão;

² Custo de adubação: valores médios pagos pelo produtor com valor do Grid e aplicação a taxa variável;

³ Rentabilidade e somatório das rentabilidades dos 3 anos do trabalho.

5.4.2 Avaliação econômica parcial safra 2010

Mesmo com o menor nível de fertilidade, a área com AP, obteve-se já no primeiro ano do trabalho um incremento de 3% (276 kg ha⁻¹) na produtividade em relação à área com AC (Tabela 15). Entretanto, para isso necessitou-se incrementar o custo da adubação com AP em 35% (R\$ 146,85) em relação à área de AC. Considerando o aumento do custo e o incremento de produtividade proporcionado, diminuindo-se os custos de aplicação, e do serviço de mapeamento e geração de mapas, houve uma rentabilidade no primeiro ano do trabalho (curto prazo) de R\$ 18,75 ha⁻¹. Salienta-se que o investimento no mapeamento e na correção de pontos críticos de fertilidade tem um efeito residual de médio à longo prazo e assim, não devemos esperar, necessariamente, todo o retorno do investimento já no primeiro ano, mas este retorno evoluindo em um incremento gradativo da produtividade no decorrer dos anos a partir das correções realizadas.

Tabela 15 – Adubação, Produtividade e análise econômica parcial safra 2010.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Custo da Adubação ³	Produtividade	Rentabilidade ⁴
	----- kg ha ⁻¹ -----			----- R\$ ha ⁻¹ -----	----- Kg ha ⁻¹ -----	----- R\$ ha ⁻¹ -----
AC ¹	122,5	40,0	60,0	426,50	9.875	0,0
AP ¹	155,7	73,0	71,8	573,35 ² (+35%)	10.151 (+3%)	+18,75

Valores Safra 2009/10;

¹ AC – Agricultura Convencional e AP – Agricultura de Precisão.

² Incluso o custo da AP – Grid 1 hectare com amostra completa R\$ 65,00, aplicação a taxa variável terceirizada de dos elementos para correção (P e K) R\$ 9,00/ha por aplicação.

³ Custo de adubação: do produtor para safra 2009/10: DAP: R\$ 1.080,00, KCl: R\$ 860,00, TSP: R\$ 608,00, Uréia: R\$ 750,00 e 05-20-30: R\$ 980,00. Valor de comercialização da saca de arroz de 50 kg. R\$ 30,00.

⁴ Rentabilidade: ganho em reais pelo aumento de produtividade, reduzido os valores de custos com utilização de fertilizantes de correção e serviços de AP e aplicação.

5.4.3 Avaliação econômica simplificada safra 2011

Na safra 2011 na avaliação do comparativo das áreas com AC e com AP na cultura da soja, obtivemos um incremento de produtividade na área com AP de 13% (480 kg ha⁻¹) em relação à área sem AC (Tabela 16), considerando que o custo da adubação para as duas áreas teve uma leve diferença na aplicação de TSP o que gerou um aumento de custo na ordem de 6% (R\$ 18,95) na área de AP.

Tabela 16 – Análise parcial de custos 2011.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Custo da Adubação ²	Produtividade	Rentabilidade ³
	----- kg ha ⁻¹ -----			----- R\$ ha ⁻¹ -----	----- Kg ha ⁻¹ -----	----- R\$ ha ⁻¹ -----
AC ¹	11,5	84,6	69,0	310,72	3660	0,0
AP ¹	11,5	95,2	69,0	329,67 (+6%)	4140 (+13%)	+338,33

Valores Safra 2010/11;

¹ AC – Agricultura Convencional e AP – Agricultura de Precisão.

² Custo de adubação: TSP R\$ 824,00; 05-20-30 R\$ 1050,00;

Soja Média de venda 2011 R\$ 44,66.

³ Rentabilidade diferença de produção pelo preço subtraído diferença de custo de adubação.

5.4.4 Avaliação econômica simplificada safra 2012

Na safra 2012 na avaliação do comparativo das áreas com AC e com AP na cultura do arroz (Tabela 17), tivemos um maior investimento em nitrogênio na área de AP de 1% (R\$ 6,12) e obtivemos um incremento de produtividade na área com AP de 2,2% (256 kg ha⁻¹) em relação à área sem AC. Também nesta safra obtivemos maiores resultados na área de AP, confirmando o aumento de produtividade nos decorrer dos anos do trabalho.

Tabela 17 – Adubação, Produtividade e análise econômica parcial safra 2012.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Custo da Adubação ²	Produtividade	Rentabilidade ⁴
	----- kg ha ⁻¹ -----			----- R\$ ha ⁻¹ -----	---- Kg ha ⁻¹ ----	----- R\$ ha ⁻¹ -----
AC ¹	166,0	59,8	54,0	583,31	11526	0,0
AP	167,4	59,8	54,0	589,43 (+1%)	11782 (+2,22)	+132,07

Valores Safra 2011/12;

¹ AC – Agricultura Convencional e AP – Agricultura de Precisão;

² Custo de adubação: DAP R\$ 1285,00; Cloreto de Potássio R\$ 999,00 e Uréia R\$ 1020,00; Preço do arroz R\$ 26,99;

³ Rentabilidade diferença de produção pelo preço subtraído diferença de custo de adubação.

5.5 Avaliação final dos nutrientes na área do experimento

5.5.1 Avaliação dos teores de fósforo na área com AC

Podemos observar na Figura 27 no gráfico que os níveis de fósforo em 2009 eram de respectivamente 92% no nível alto, 5% no nível muito alto e 3% no nível médio. Já em 2012 estes níveis caíram com 62% da área no nível médio, 35% no nível alto, 3% no nível muito alto, e 1% no nível baixo. Há uma redução nos níveis alto e muito alto e um aumento nos níveis médio e baixo, aumentando a variabilidade em relação a 2009, como a produtividade média nas Safras 2010, 2011 e 2012 foram maiores que a expectativa pode justificar esta redução.

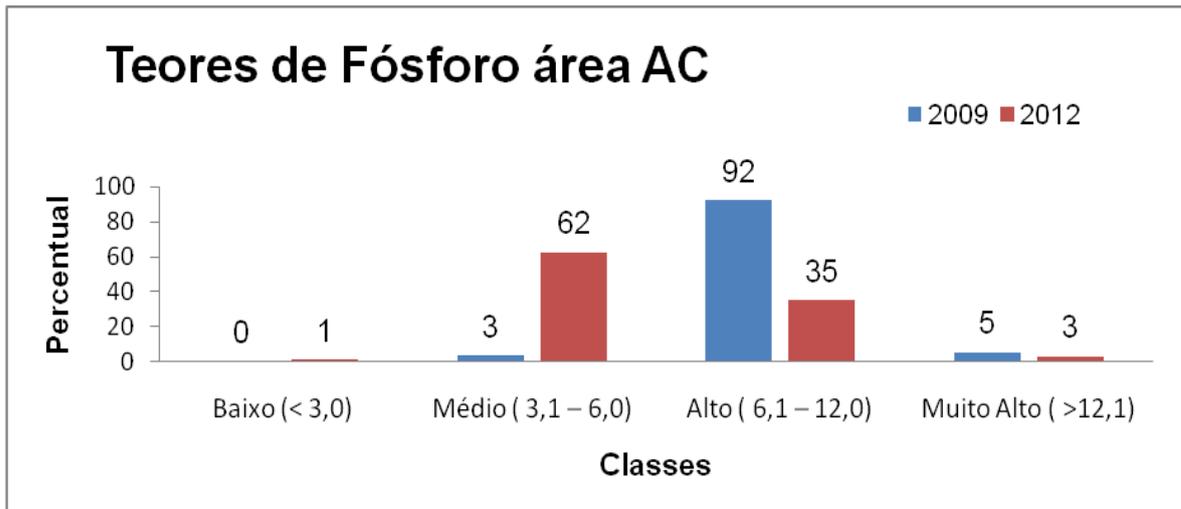


Figura 27 – Gráfico comparativo dos teores de P na área de AC 2009/12.

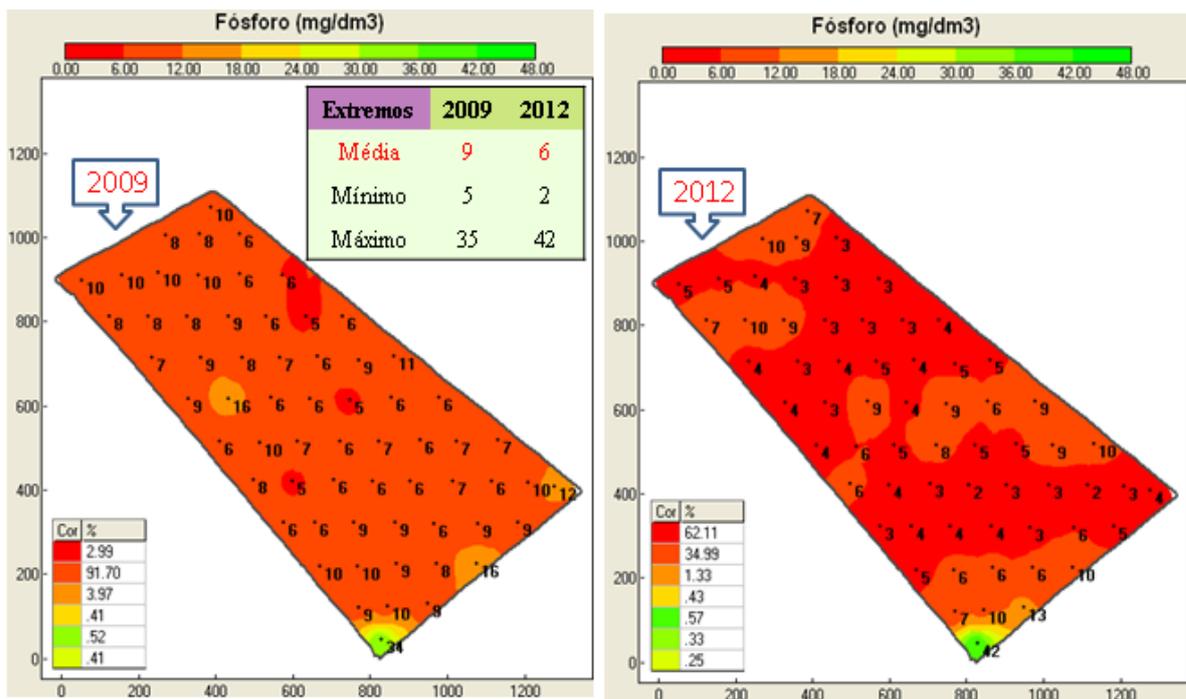


Figura 28 – Níveis de fósforo do experimento 2009 e 2012 AC.

Na figura 29 temos a sobreposição dos mapas de fósforo da área de AC 2012 em relação a 2009 (Figura 28), temos um aumento nos níveis de fósforo em 15% da área, no restante da área observamos a redução do nível deste nutriente.

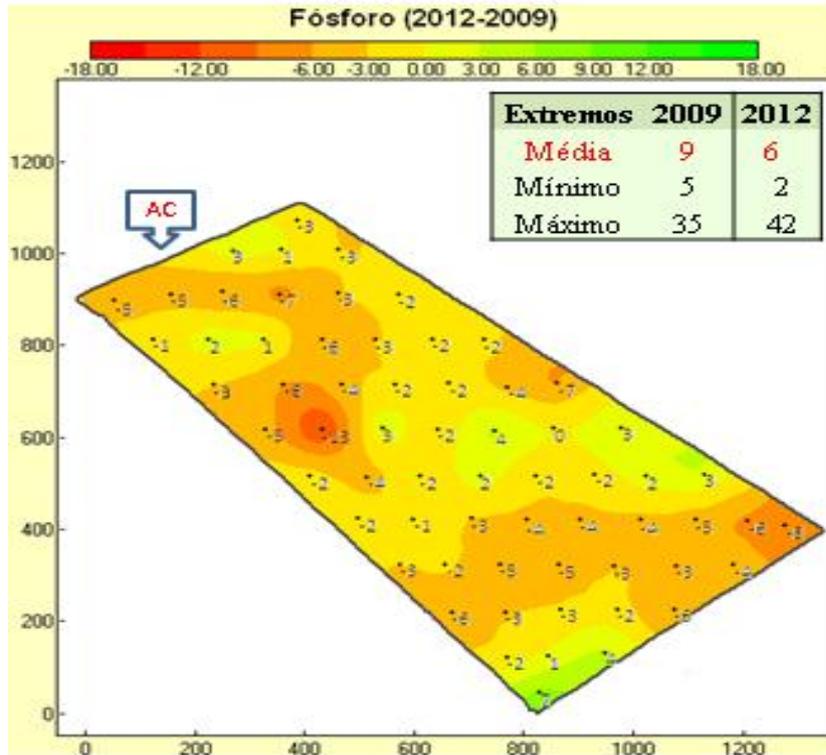


Figura 29 – Sobreposição dos níveis de fósforo da área de AC 2009/2012.

5.5.2 Avaliação dos teores de fósforo na área com AP

Na Figura 30 temos o gráfico da evolução dos níveis de fósforo para a área de AP, em 2009 as classes estavam distribuídas em 88% altos, 2% médio e 2% muito alto, já para 2012 os valores das classes são 57% alto, 36% médio, 7% muito alto. A uma redução no nível alto e aumento nos níveis médio, muito alto e baixo, aumentando a variabilidade em relação a 2009.

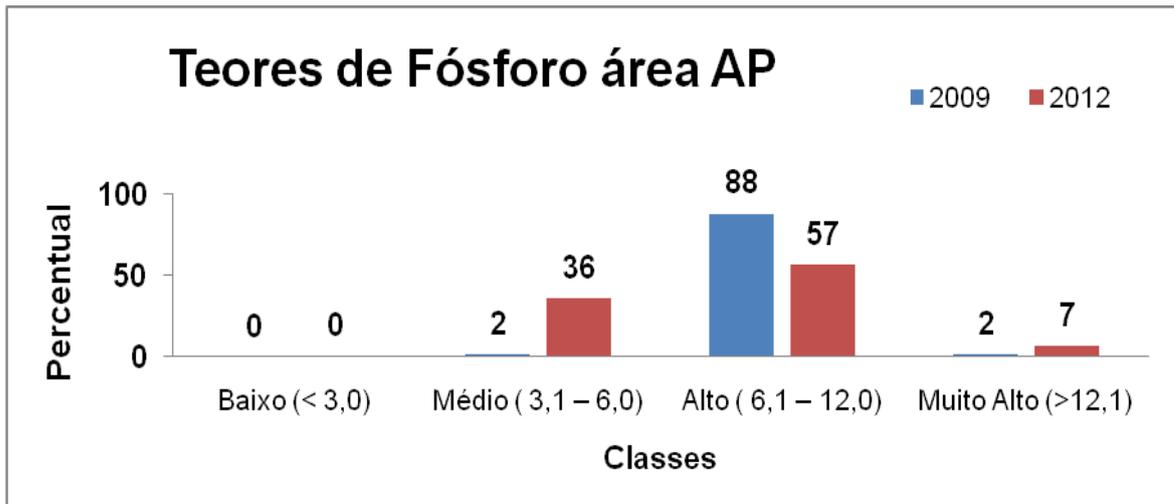


Figura 30 – Gráfico comparativo dos teores de P na área de AP 2009/12.

A Figura 32 apresenta a evolução do fósforo na área de AP observando a sobreposição dos mapas de 2012 em relação a 2009 (Figura 31), temos um aumento nos níveis deste nutriente em 31,5% da área, no restante da área observamos a redução do nível.

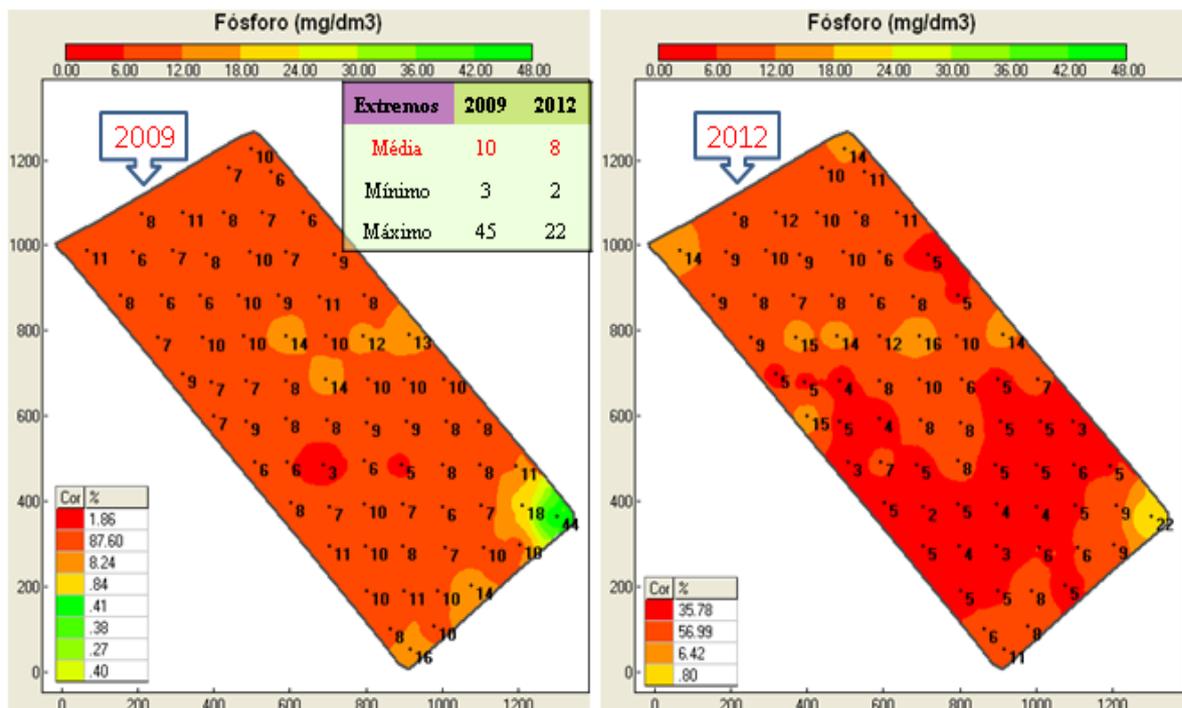


Figura 31 – Níveis de fósforo do experimento 2009 e 2012.

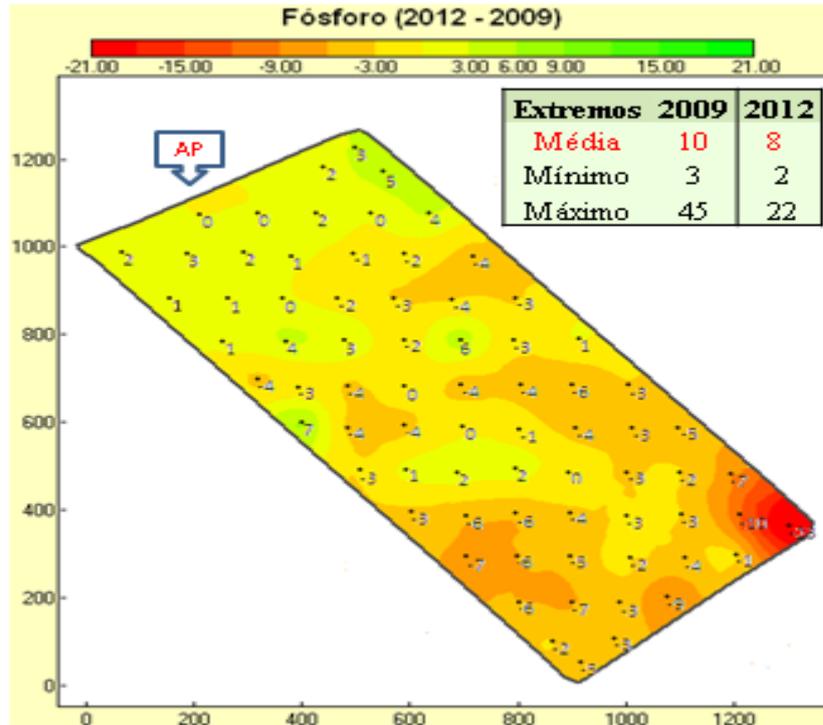


Figura 32 – Níveis de fósforo na área de AP 2009/2012.

Quando comparamos a área de AP com a área de AC, mesmo na área de AP tendo uma maior produtividade, temos um ganho de fertilidade de 31,5% contra 15%, mostrando maior eficiência da utilização de adubação à taxa variável em relação à adubação convencional. Este é um dos objetivos do trabalho alcançar níveis maiores de fertilidade nas áreas, aliado a redução das regiões de baixa fertilidade do nutriente.

5.5.3 Avaliação dos teores de potássio na área com AC

Podemos ver na Figura 33 no gráfico que os níveis de potássio estavam divididos nas classes com 57% alto, 41% médio, 1% muito alto e 1% baixo, já para 2012, os níveis apresentaram nas classes com 62% baixo, 33 médio, 4% alto e 1% muito alto. Há uma redução nos níveis altos e médios e um aumento no nível baixo, aumentando a variabilidade na fertilidade da área em relação a 2009.

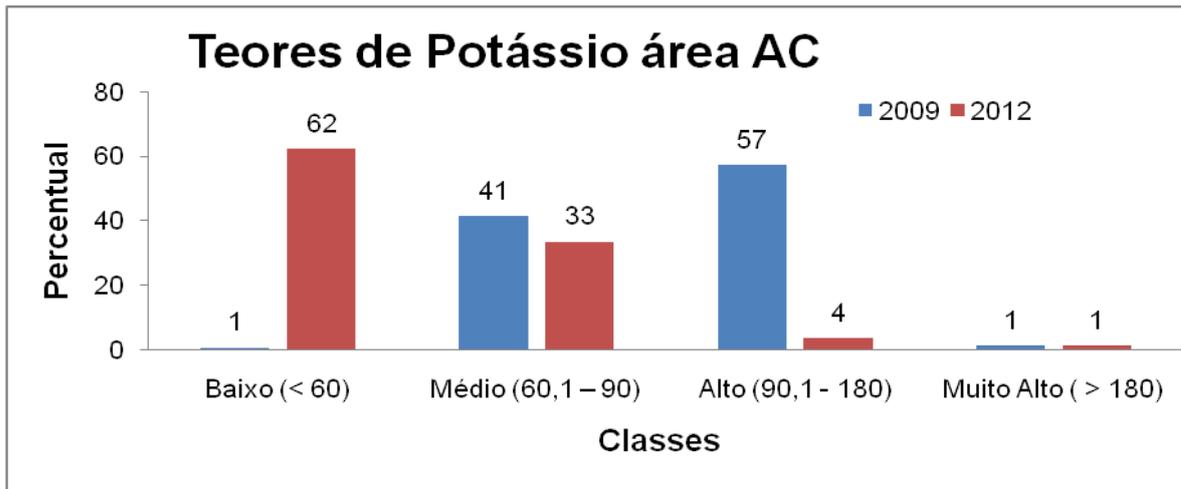


Figura 33 – Gráfico comparativo dos teores de K na área se AC 2009/2012.

A Figura 35 apresenta a evolução do potássio na área observando a sobreposição dos mapas de potássio da área de AC 2012 em relação a 2009 (Figura 34), temos um aumento nos níveis deste nutriente em 5% da área, no restante da área observamos a redução do nível. Esta redução está relacionada à colheita de feno na área a qual não foi observada para adubação nos anos do experimento.

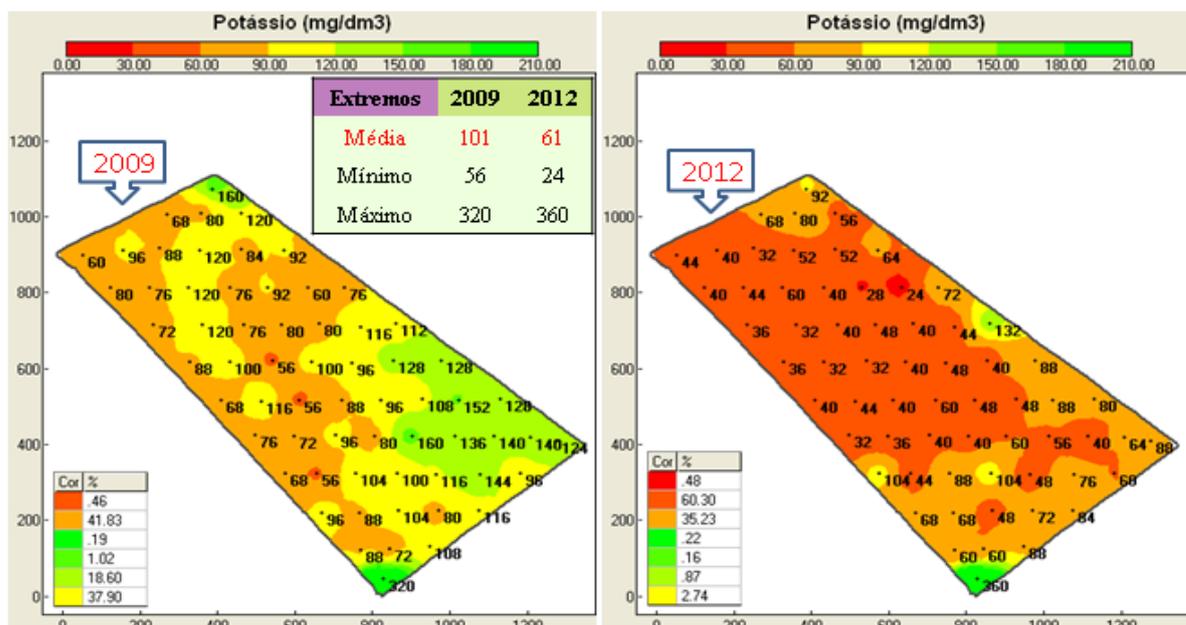


Figura 34 – Níveis de potássio do experimento 2009 e 2012.

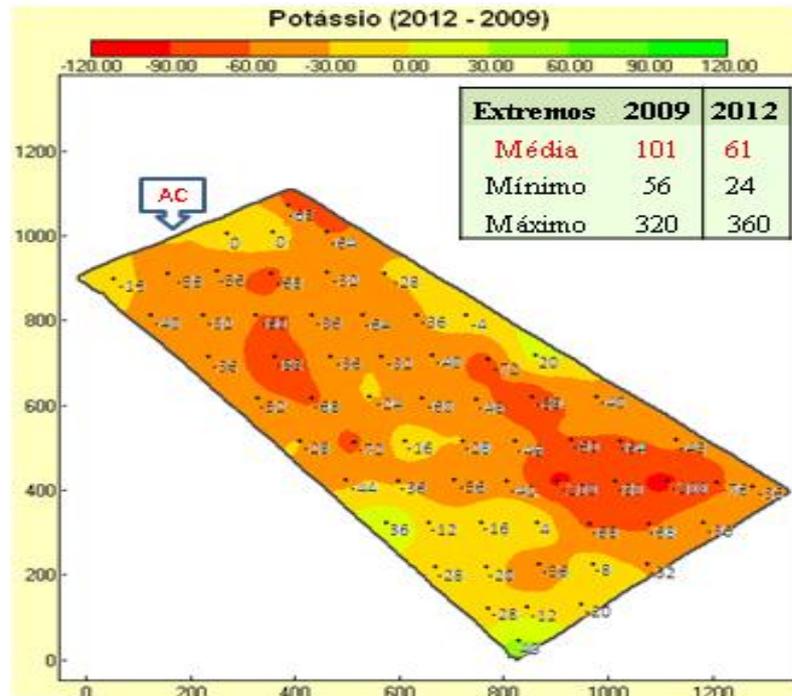


Figura 35 – Níveis de potássio na área de AC 2009/2012.

5.5.4 Avaliação dos teores de potássio na área com AP

Podemos observar na Figura 36, que o nível de potássio apresentava nas faixas dos níveis de 52% com médio, 47% com alto, 1% muito alto e 1% baixo no ano de 2009. Para o ano de 2012, o nível de potássio apresentou 84% da área no nível baixo, 13% no nível médio e 2% no nível alto. Apesar de ocorreu uma redução no nível do nutriente, porém temos uma maior uniformidade de potássio na área em 2012 comparado com 2009, correspondendo a um dos princípios da AP diminuir a variabilidade das áreas de trabalho.

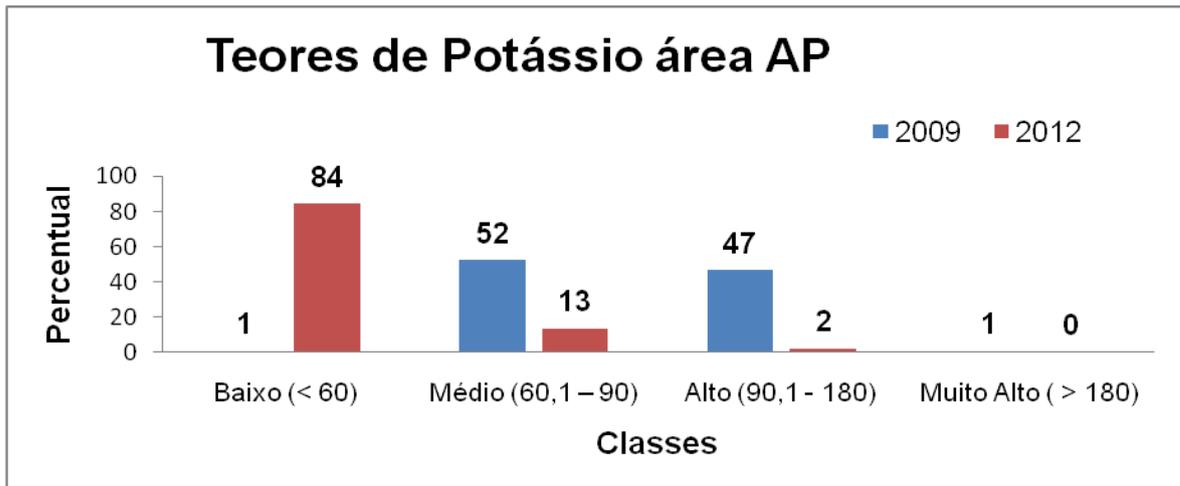


Figura 36 – Gráfico comparativo dos teores de K na área se AP 2009/2012.

A Figura 38 apresenta a evolução do potássio na área observando a sobreposição dos mapas de potássio da área de AP 2012 em relação a 2009 (Figura 37), temos um aumento nos níveis deste nutriente em 0,5% da área, no restante da área observamos a redução do nível. Esta redução está relacionada à colheita de feno na área a qual não foi observada para adubação nos anos do experimento.

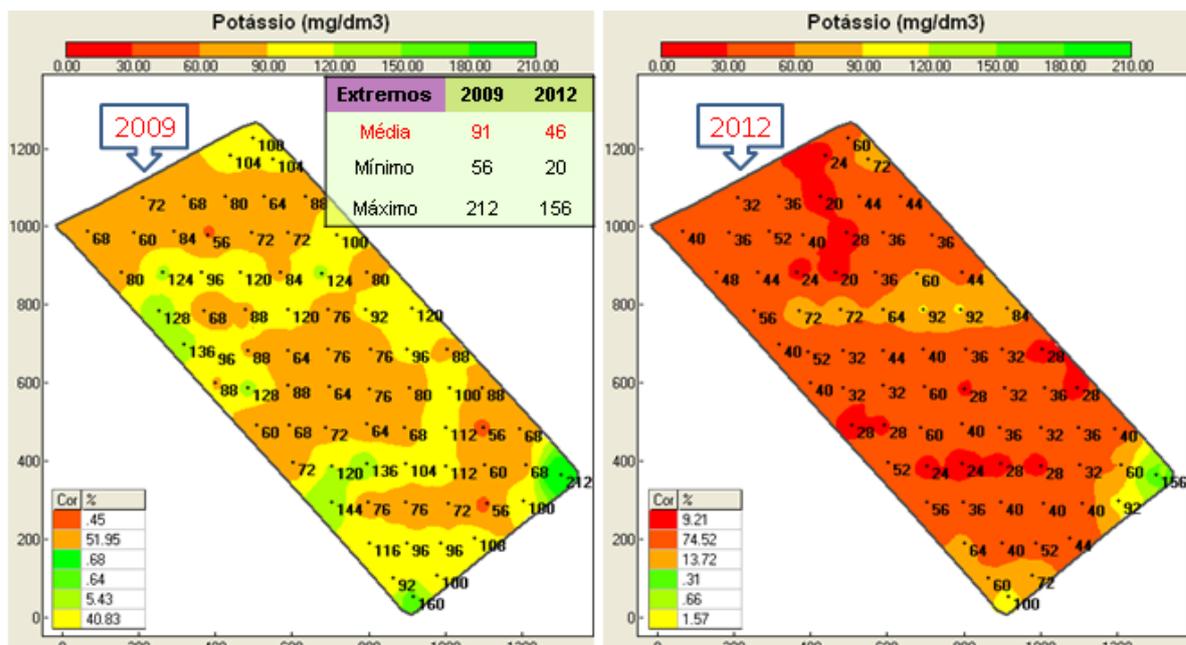


Figura 37 – Níveis de potássio do experimento 2009 e 2012.

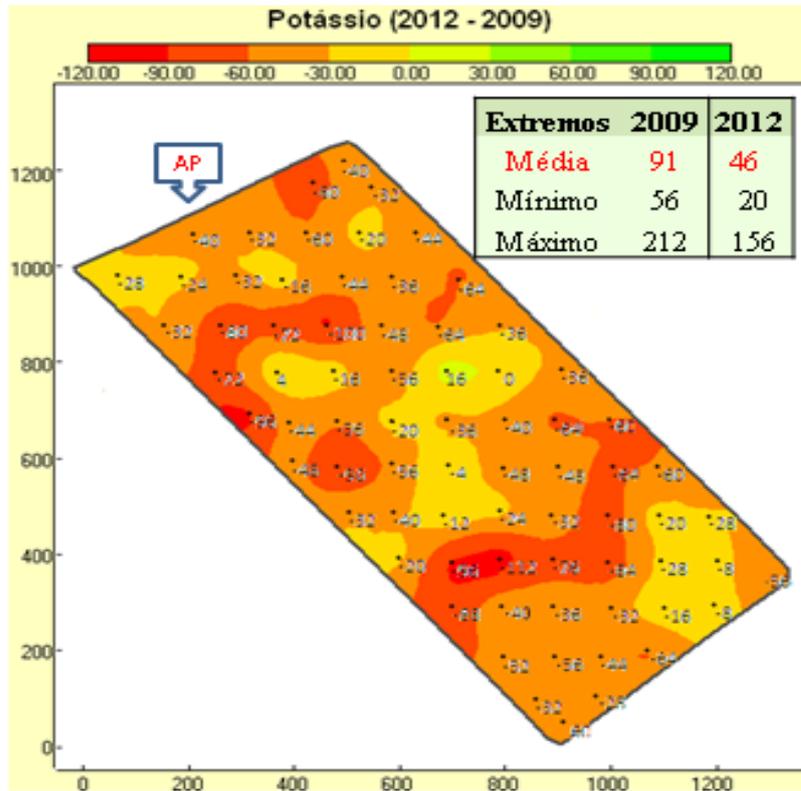


Figura 38 – Níveis de potássio na área de AP 2009/2012.

5.6 Avaliação da fertilidade das áreas 2012

Avaliando os valores dos atributos químicos de solo do ano de 2012 (Tabela 17) os resultados obtidos em termos de variabilidade destes atributos, mostram variações entre 1,7 até 81,2%, considerando as duas áreas em estudo aumentando a diferença de variabilidade dentro da área total. A área 1 (AC) em que foi utilizado o manejo convencional de adubação, foi a que apresentou maior variação do CV médio (29,9%) em relação a área 2 (AP) a qual foi realizado manejo variável de adubação com (29,5%) invertendo o comportamento de 2009 (Tabela 8) cuja área 1 era menos variável que a área escolhida para AP (21,6 e 28,7% respectivamente). Em ambas as áreas o pH foi o elemento com menor variação (1,7 e 2,1%, áreas 1 e 2, respectivamente) repetindo o comportamento das áreas de 2009.

O fósforo é o nutriente que mais variou na área de AC 81,2% seguido pelo potássio, com 71,7% os nutrientes repetem o comportamento de 2009, porém a

variabilidade aumentou no comparativo da área de AC de 2009 (P 44,7% e K 37,5%) atrás vem o Boro com 49,2%.

Para a área de AP o nutriente que mais variou foi o Enxofre 58,8% depois o Potássio 48,1% e o Fósforo 47,4% comparando se com 2009 estes nutrientes variaram em 23,2%, 29,4% e 49,2% respectivamente.

Podemos observar que mesmo com a aplicação da taxa variável na área destinada para AP, temos ainda uma variabilidade entre os talhões, tanto que ao compararmos as duas áreas, através da média numérica de cada atributo, dos 16 atributos relacionados, a área com AC tem 10 atributos com valores superiores (diminuindo um atributo em relação a 2009), 2 atributos iguais e 4 atributos com valores inferiores (aumentando um atributo em relação a 2009). Na média, a área com AC apresenta níveis 7% superiores aos teores da área com AP em 2009, porém, em 2012 este valor caiu para apenas 3%, mostrando que a aplicação de taxa variável colaborou para uma melhora na área com AP além do aumento da produtividade da mesma (Tabela 18).

Em termos de fertilidade média e valores absolutos, avaliados neste ano de 2012, temos na área se AC os níveis de P e K ambas as áreas estão classificadas dentro das faixas de recomendação da COMISSÃO... (2004) alta para fósforo e média para potássio, havendo também indicação de calagem para a área.

Comparando com o ano de 2009, temos a necessidade de utilização de calcário devido a SB estar com média de 60% (recomendado 65%), para P a área se manteve na área de alta fertilidade e a área de K os níveis médios caíram para a faixa média em relação a classe alta de 2009.

Podemos observar para a área de AP que há necessidade de aplicação de calcário devido a SB estar em 57,8%, os níveis de P e K estão nas faixas de classificação de alto e baixo respectivamente, enquanto que em 2009 as faixas eram P e K alto. Observamos a manutenção do nível do P e a redução no nível de K, a explicação para esta baixa de potássio é devido as maiores produtividades em relação a expectativa nas três safras além da retirada da palha via fenação nas safras 2010 e 2012.

Tabela 18 – Comparativo dos atributos químicos do solo entre a área de Agricultura Convencional (AC) e a área de Agricultura de Precisão (AP) 2012.

Elementos e Parâmetros ¹	Área 1 – Agricultura Convencional					Área 2 – Agricultura de Precisão				
	Mín	Máx	Média	DP	CV%	Mín	Máx	Média	DP	CV%
Argila (%)	31,0	47,0	38,0	3,7	9,8	19,0	54,0	32,9	6,9	20,9
MO (%)	2,3	3,3	2,8	0,2	8,7	1,7	3,8	2,7	0,5	18,7
pH	4,8	5,1	5,0	0,1	1,7	4,8	5,3	5,0	0,1	2,1
SA (%)	1,3	9,1	5,0	1,3	26,0	2,0	13,0	5,2	2,2	41,6
Ca (cmol _c dm ⁻³)	9,1	13,4	11,2	1,0	8,9	4,9	15,0	9,8	2,4	24,2
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,6	5,0	3,7	0,5	13,5	1,6	5,5	3,5	0,9	27,4
CTC (cmol _c dm ⁻³)	19,8	32,3	24,9	2,4	9,6	12,0	32,0	22,9	4,2	18,3
SB (%)	55,1	66,8	60,3	2,7	4,5	43,0	68,0	57,8	6,1	10,5
P (mg dm ⁻³)	2,2	42,0	6,4	5,2	81,2	2,0	22,0	7,7	3,7	47,4
K (mg dm ⁻³)	24,0	360,0	61,1	43,8	71,7	20,0	156,0	46,5	22,4	48,1
SK (%)	0,3	3,8	0,6	0,5	72,8	0,2	2,0	0,5	0,3	50,9
S (mg dm ⁻³)	10,0	45,0	22,5	8,4	37,2	10,0	96,0	30,0	17,6	58,8
Zn (mg dm ⁻³)	2,1	12,6	3,9	1,5	39,3	2,2	6,8	4,2	0,9	22,3
Cu (mg dm ⁻³)	0,4	1,4	0,6	0,2	28,7	0,3	0,8	0,5	0,1	20,0
Bo (mg dm ⁻³)	0,1	0,6	0,3	0,2	49,2	0,1	0,6	0,3	0,2	45,7
Mn (mg dm ⁻³)	47,0	97,0	61,2	9,8	16,0	32,0	80,0	57,7	8,7	15,1
			Média		29,9			Média		29,5

¹Conjunto de dados obtidos de análise estatística de 138 análises químicas: 65 amostras da área com AC e 73 amostras da área com AP.

² Diferença percentual entre a média de cada atributo químico do solo da área de AC em relação a área de AP.

Quando avaliamos o comportamento do CV% das áreas podemos observar que para a área de AC tivemos um aumento considerável nos valores de P e K que em 2009 eram de 44,7% e 37,5% respectivamente subindo em 2012 para 81,2% e 71,7%, aumentando a variabilidade da área para estes atributos.

Já para a área de AP o comportamento do CV% apresentou os valores de para P e K em 2009 de 49,4% e 46,5% respectivamente, e para o ano de 2012 estes valores para P teve uma pequena alteração para menos 47,4% e para K uma alteração para mais 48,1% invertendo o comportamento da área em relação a 2009 onde a área de AC apresentava menor variabilidade em relação a estes nutrientes.

Observamos na Figura 39 que a diferença dos níveis de fósforo aumentou em relação a 2009 e a de potássio diminuíram, conforme o balanço de nutrientes.

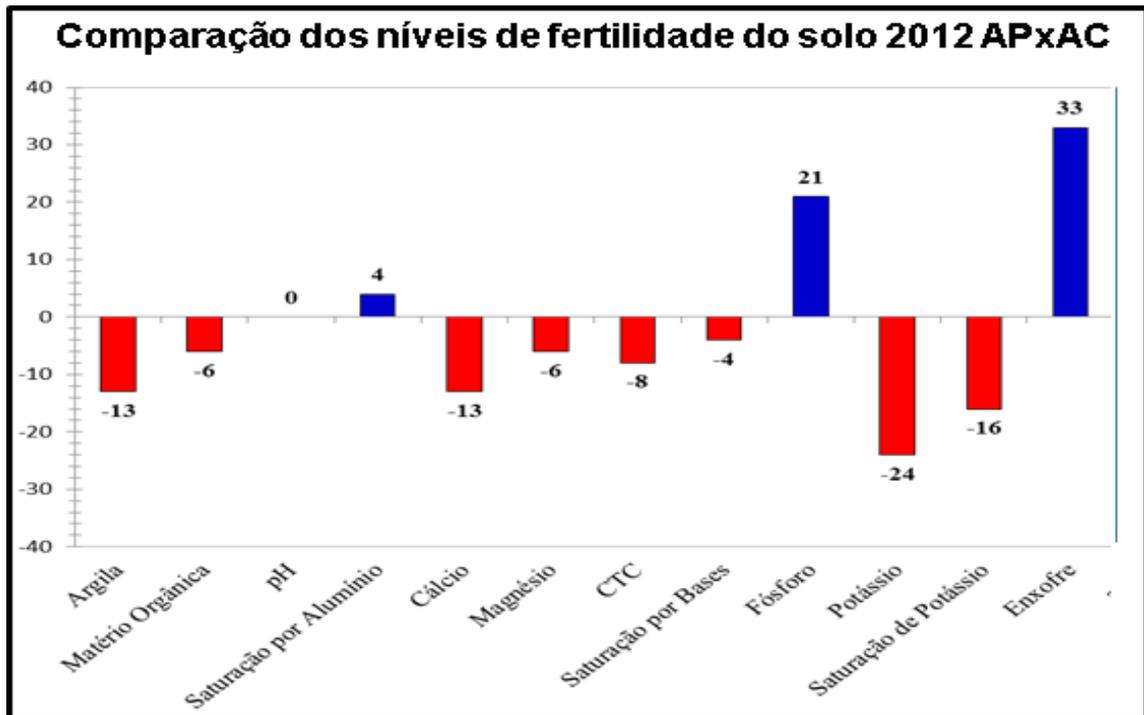


Figura 39 – Comparação dos níveis de fertilidade 2012.

6 CONCLUSÕES

- 1) A utilização das técnicas de mapeamento de AP foram eficientes para identificação da variabilidade do solo;
- 2) A variabilidade final da área de AC aumentou, enquanto que na área de AP esta variabilidade diminuiu;
- 3) A utilização de adubação a taxa variável proporcionou aumento de produtividade, com destaque para nitrogênio em taxa variável que teve maior correlação com a produtividade do arroz na primeira safra;
- 4) O desembolso com a utilização de AP ficou maior por área, porém melhor relação custo/benefício por unidade de produção;
- 5) A utilização de AP neste trabalho para a condição de solo avaliada é favorável tecnicamente e economicamente em lavouras de várzea;
- 6) O balanço de nutrientes foi positivo para fósforo em relação às aplicações e produtividades e negativo para potássio devido a retirada de matéria seca via fenação na área.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. A. A.; BUSATO, M. R.; LONDERO, G. T.; LEMAINSKI, C. L.; SANTI, O. G. R., Uso de técnicas de agricultura de precisão no manejo da adubação do arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – CONBAP, 2010. Ribeirão Preto/São Paulo, **Anais do congresso**.

AMADO, T. J. & GIOTTO, E. A. **A sua Lavoura na Tela - Agricultura de Precisão tem mecanismos que possibilitam que suas detalhadas informações sejam acessadas em qualquer lugar e em qualquer momento pela internet e Smartphone**, Revista A Granja, Dezembro de 2009.

AMADO, T. J.; BELLÉ, G. L.; DELLAMEA, R. B. C.; PES, L. Z.; FULBER, R.; PIZZUTI, L.; SCHENATO, R. B.; LEMAINSKI, C. L. **Projeto Aquarius-Cotrijal: Polo de Agricultura de Precisão** – Revista Plantio Direto, edição 91, jan/fev de 2006. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo/RS. In <http://www.plantiodireto.com.br/imprime.php?cod=690>. Acesso em 22 de dezembro de 2013.

ANGHININO, I. et al. **Adubação potássica em arroz irrigado conforme a capacidade de troca catiônica do solo** – Revista Pesquisa agropecuária, v. 48 n 11, p 1481-1488, Nov 2013. Brasília/DF. In <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab> Acessado em 01 de fevereiro de 2014.

BERALDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade de soja**, 2004. p 72 – Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, SP.

BERNARDI, A. C. de C.; BETTIOL, G. M.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. **Agricultura de Precisão: um novo olhar; Capítulo 4.13 Variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejada intensivamente em São Carlos**, SP p.261-266, EMBRAPA Instrumentação, São Carlos, São Paulo, 2011. In <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em 15 de dezembro 2013.

BERNARDI, A. C. de C.; GIMENEZ, L. M.; Machado, P. L. O. de A.; SILVA, C. A. Aplicação de Fertilizantes a Taxas Variáveis. 2004. 153 a 164 in MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto** (Ed.). - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. In: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 24 de dezembro de 2013.

BORTOLON, L. **Métodos de avaliação da disponibilidade de nutrientes para as plantas em solos do Rio Grande do Sul**, 2005. 129 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

CARVALHO, J. R.; VIEIRA, S. R.; MARINHO, P. R.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C.; POTT, C. A.; DUFRANC, G. **Avaliação da variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob semeadura direta em São Paulo – Brasil**. Campinas: EMBRAPA, 2001, p. 1- 4 (Comunicado Técnico).

CAVALCANTE, E. G. S. et al. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 1329-1339, 2007. In <http://www.scielo.br/scielo.php>. Acesso em 10 de dezembro 2013.

CERRI, D. G. P., **Agricultura de precisão em cana-de-açúcar: Instrumentação de uma colhedora, mapeamento da produtividade e de atributos do solo**. 2005 173 p. Tese de Doutorado Faculdade de engenharia agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP. In <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document>. Acesso em 24 de dezembro de 2013.

COELHO, A. M., Agricultura de precisão em sistemas Agrícolas, in **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais** 1 ed. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2008. Cap 35 p. 1062-1080. In <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/570974>. Acesso em 26 de dezembro 2013.

COELHO, A. M. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas** – Documentos 46, EMBRAPA, Sete Lagoas MG dezembro 2005. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital>. Acessado em 11 de dezembro 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.. ed. Porto Alegre: SBSC – Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.

COSTA, C.C.; GUILHOTO, J. J. M. **Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira**. Revista de Economia e Agronegócio, v. 10, n. 2, p. 177-204, 2012. In <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/>. acesso em 14 de dezembro de 2013.

DELLAMEA, R. B. C. **Eficiência da adubação a taxa variável em áreas manejadas com Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**, 2008. 162 p., Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

DOS SANTOS, H. L. & VASCONCELLOS, C. A. **Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo V. 11: nº. 2- pg. 97-100, mai/ago de 1987. In http://www.sigacana.com.br/Cana_de_acucar. Acesso em 24 de dezembro de 2013.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (*Oryza Sativa L.*)**. 2007 147 f. Tese Doutorado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 2ª Edição, 412 p.

EMBRAPA, Circular Técnica 48 - **Ecofisiologia da Soja**. 2007. 9p. Londrina, PR. In <http://www.cnpso.embrapa.br/download/cirtec/cirtec48.pdf>. Acessado 02 de fevereiro 2014.

EMBRAPA, Instrumentação. São Carlos, São Paulo, 2011. In <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em 15 de dezembro 2013.

EMBRAPA TRIGO, ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES E COMERCIANTES DE SEMENTES E MUDAS DO RIO GRANDE DO SUL (APASUL), **Indicações Técnicas para a cultura da soja no RS e SC, safras 2012/13 e 2013/14**. 2012. 142 p., Documentos 107, 39º Reunião da pesquisa da soja da Região Sul, 24 a 26 de julho de 2012, Passo Fundo RS. In http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/soja/indicacoes_soja2012-2013.pdf. Acesso em 22 de janeiro 2014.

FAGERIA, N. K. et al. Seja doutor de seu arroz. Arquivo agrônomo N° 9. 2005. 22p. POTAFÓS – Piracicaba/SP.

FILHO, O. G. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**, 2009, p 114, Dissertação de Mestrado. Curso de Pós Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical _ IAC (Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas/SP).

FILHO, I. de C. **Agricultura de Precisão: um novo olhar; Capítulo 5.7 in Agricultura de Precisão como ferramenta para promoção da sustentabilidade e competitividade do agronegócio Brasileiro**, SP p.328-331, EMBRAPA Instrumentação, São Carlos, São Paulo, 2011. In <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em 15 de dezembro 2013.

FIORIN, J. E. et al. **Viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul 2011**. XVI Seminário Interinstitucional de Ensino Pesquisa e Extensão, UNICRUZ Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta/RS. In <http://www.unicruz.edu.br/seminario/artigos/agrarias>. Acesso em 26 de dezembro 2013.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P. **Variabilidade espacial aplicada a pesquisa a e ao desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis**, Anais, VI Congresso Brasileiro de Soja, 2012 – Cuiabá, MT. In. Acesso em 10 de dezembro 2013. <http://www.cbsoja.com.br/anais/palestras/JulioCezarFranchini.pdf>

GARCIA, F. O. **Balance de nutrientes en la rotación: Impacto en rendimientos y calidad de suelo 1** - Revista Horizonte A. Año IV, No. 18, Febrero 2008. p. 22-28. Buenos Aires, Argentina. In <http://www.profertilnutrientes.com.ar/biblioteca>. Acesso em 14 de dezembro 2013.

GOMES, A. da S. et al. **Caracterização de Indicadores da Qualidade do Solo, com Ênfase às Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul**. 2006. 42p. Documento 169, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS. In <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em 05 de janeiro 2014.

GOMES, A. da S. **Rotação de Culturas em Áreas de Várzea e Plantio Direto de Arroz**, 2002. 65 p. Documento 89, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS. In <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em 05 de janeiro 2014.

INAMASU, R. Y, et al. **Agricultura de Precisão: um novo olhar Agricultura de Precisão para a sustentabilidade dos sistemas produtivos do Agronegócio Brasileiro**; SP, p.14-26,

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. Rio Grande do Sul 2013. In <http://www.irga.rs.gov.br/inicial>. Acesso em 06 de dezembro 2013.

JACOB, A. A. E. **Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de Agricultura de Precisão**, 1999. In <http://cutter.unicamp.br/document>. Acesso em 23 de dezembro 2013.

LEMAINSKI, C. L. **Agricultura de Precisão em áreas com pivô central no Rio Grande do Sul**, 2007, 133p. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

LEMAINSKI, C. L. Agricultura de Precisão; Caderno Campo e Lavoura – Zero Hora 20/12/2013.

MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto** (Ed.). - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. In: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 24 de dezembro de 2013.

MACHADO, L. de O. et al. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema de plantio convencional** - Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31 p. 591-599, 2007 In <http://www.scielo.br/cgji>. Acesso em 17 de dezembro 2013.

MAPA. Agricultura de Precisão – **Boletim técnico**. 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ISBN 978-85-99851-90-6. Brasília, 2013b. 36 p.

MARCHEZAN, E, **Desafios e perspectivas da rotação com soja**. VIII Congresso de Arroz Irrigado, Avaliando cenários para a produção sustentável de arroz. 2013, Santa Maria, RS. In <http://www.cbai2013.com.br/secao=cd>. Acesso em 06 de dezembro 2013.

MONTIEL, L. R. S. **Balanço e evolução temporal de teores de fósforo e potássio no solo em áreas manejadas com agricultura de precisão**. 2011. 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria / RS.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão**. Parte II: Diagnósticos, aplicação localizada e considerações agronômicas. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 108-121, 1997. In <http://www.engenhariaagricola.org.br/anteriores.html>. Acesso em 23 de dezembro 2013.

MOLIN, J. P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Engenharia Agrícola, n.22, p.83-92, 2002. In <http://www.scielo.br/scielo> Acessado em 23 dezembro 2013.

PARFITT, J. M. B. et al. **Variabilidade espacial dos atributos químicos físicos e biológicos de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 4 v. 33, Viçosa, jul/ago 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400007>. Acessado 15 janeiro 2014.

PETRINI, J. A. et al. **Situação atual do arroz irrigado no Rio Grande do Sul e perspectivas futuras**, 2002, Porto Alegre, RS cap. 5. In Série Culturas – Arroz, Comissão de Agricultura Pecuária e Cooperativismo, Assembléia Legislativa, Porto Alegre, RS.

PINTO, L. F. S.; GOMES, A. da S.; NETO, J. A. L. **Solos Cultivados com Arroz Irrigado na Região Subtropical: Rio Grande do Sul e Santa Catarina** 2004, p. 59-72. Pelotas/RS in EMBRAPA – Sistemas de Produção 03 - Sistema de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil. Pelotas/RS.

PIRES, J. L. F. et al. **Discutindo agricultura de precisão – aspectos gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18p. Embrapa Trigo. Documentos Online n 42.

RESENDE, A. V.; VILELA, M. F. **Agricultura de Precisão: um novo olhar; Capítulo 3.1 Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas anuais**; p.135-137, EMBRAPA Instrumentação, São Carlos, São Paulo, 2011. In <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>. Acesso em 15 de dezembro 2013.

RESENDE, A. V. et al. **Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade - XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA** Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil. 08 a 13 de agosto de 2010, Teresina – Piauí. In <http://www.cpamn.embrapa.br/rbmcsa> Acessado em 10 janeiro 2014

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; FLORA, L. P. D.; SMANIOTTO, R. F. F. **É chegada a hora da integração do conhecimento**, Revista Plantio Direto, edição 109, janeiro/fevereiro de 2009. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS.

SANTI, A. L. **Aprimoramento do manejo do solo utilizando as ferramentas da Agricultura de Precisão**. 2007. 210 p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SANTI, O. G. R. **Eficiência de aplicação de insumos a taxa variável na correção do solo e uniformização da produtividade da cultura da soja através de mapas de agricultura de precisão**, 2013. 78 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Mecanização Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SANTOS, N. M. L. **Parâmetros químicos da fertilidade de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo após dezenove anos**. 2006. 58 p. Dissertação de Mestrado, Programa Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS.

SILVA, F. M. et al. **Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade na cultura do café**. Ciência Rural, n.37, p.401-407, 2007 Disponível em: In <http://jararaca.ufsm.br/websites/dalmolin/download/textospl/fundame.pdf>. Acesso em 20 de dezembro 2013.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**; V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. 2007. 161 p., il. Pelotas, RS.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**; XXIX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. 2012. 176 p., il. Gravatal, SC.

SCHOENFELD, R. **Sistema de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em planossolo háplico**, 2010, 69 p. Dissertação de Mestrado (Pós Graduação em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**, 2001. 184 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

WERNER, V. **Análise econômica e experiência entre agricultura de precisão e convencional**, 2007. 134 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Mecanização Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

WERNER, V. **Utilização dos recursos de agricultura de Precisão, na geração de mapas de atributos, mapas de produtividade e aplicação de insumos a taxas variáveis**, 2004. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Mecanização Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

ANEXOS

 GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AGRONEGÓCIO INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ				
CUSTO DE PRODUÇÃO DO ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL SISTEMA SEMIDIRETO				
RESUMO DOS ITENS DO CUSTO DE PRODUÇÃO				
CUSTO DE PRODUÇÃO POR OPERAÇÕES - SAFRA 12/13 Com FUNRURAL				Out/2012 Projeção
ITENS	R\$/ha	%	US\$/ha	scs/ha
ITEM 01 - TERRA DE CULTIVO	615,34	13,09%	303,14	16,24
ITEM 02 - DESMONTE DE TAIPAS	6,07	0,12%	2,99	0,16
ITEM 03 - DISCAGEM	104,16	2,21%	51,31	2,74
ITEM 04 - APLAINAMENTO	109,28	2,32%	53,83	2,88
ITEM 05 - DRENAGEM	124,10	2,64%	61,13	3,27
ITEM 06 - ADUBO DE BASE E COBERTURA	623,40	13,26%	307,11	16,45
ITEM 07 - SEMENTE	181,58	3,86%	89,45	4,79
ITEM 08 - APLICAÇÃO DE BASE E SEMEADURA	83,02	1,76%	40,89	2,19
ITEM 09 - ROLAGEM	5,36	0,11%	2,64	0,14
ITEM 10 - IRRIGAÇÃO	462,09	9,83%	227,64	12,19
ITEM 11 - CANAIS E CONDUTOS	107,45	2,28%	52,93	2,83
ITEM 12 - TAIPAS	78,31	1,66%	38,57	2,06
ITEM 13 - AGUADOR	110,45	2,35%	54,41	2,91
ITEM 14 - APLICAÇÃO ADUBAÇÃO DE COBERTURA	47,41	1,01%	23,35	1,25
ITEM 15 - CONTROLE DE INVASORAS, PRAGAS E MOLÉSTIAS	305,88	6,50%	150,68	8,07
ITEM 16 - COLHEITA	424,78	9,03%	209,26	11,21
ITEM 17 - TRANSPORTES INTERNOS	103,99	2,21%	51,22	2,74
ITEM 18 - FRETES	241,07	5,12%	118,76	6,36
ITEM 19 - SECAGEM	364,67	7,75%	179,65	9,62
ITEM 20 - ADMINISTRAÇÃO	132,24	2,81%	65,14	3,49
ITEM 21 - ESTRADAS	28,29	0,60%	13,93	0,74
ITEM 22 - INSTALAÇÕES AGRÍCOLAS	55,13	1,17%	27,15	1,45
ITEM 23 - TAXAS (CDO, FUNRURAL, LIC. AMBIENTAL)	204,47	4,35%	100,73	5,39
ITEM 24 - JUROS DO FINANCIAMENTO CUSTEIO AGRÍCOLA	109,85	2,33%	54,11	2,89
ITEM 25 - JUROS SOBRE CAPITAL PRÓPRIO DO CUSTEIO AGRÍCOLA	71,35	1,51%	35,15	1,88
TOTAL	4.699,73	100,00%	2.315,31	124,06
- Prod. considerada (média de 3 anos: 08/09, 10/11 e 11/12)	149,67	sacos/ha		
- Custo em Reais (R\$) por saco de 50 kg	31,40			
- Custo em dólares (US\$) por saco de 50 kg	15,46			
- Cotação do dólar comercial (Out/2012, venda)	2,0298			
- Preço comercial do arroz (sc 50 kg,seco,limpo)	37,88			
Elab.: Seção de Política Setorial/DCI				
Fonte: DATER/NATeS				

Figura 40 – Custo de Produção.

Fonte: Irga

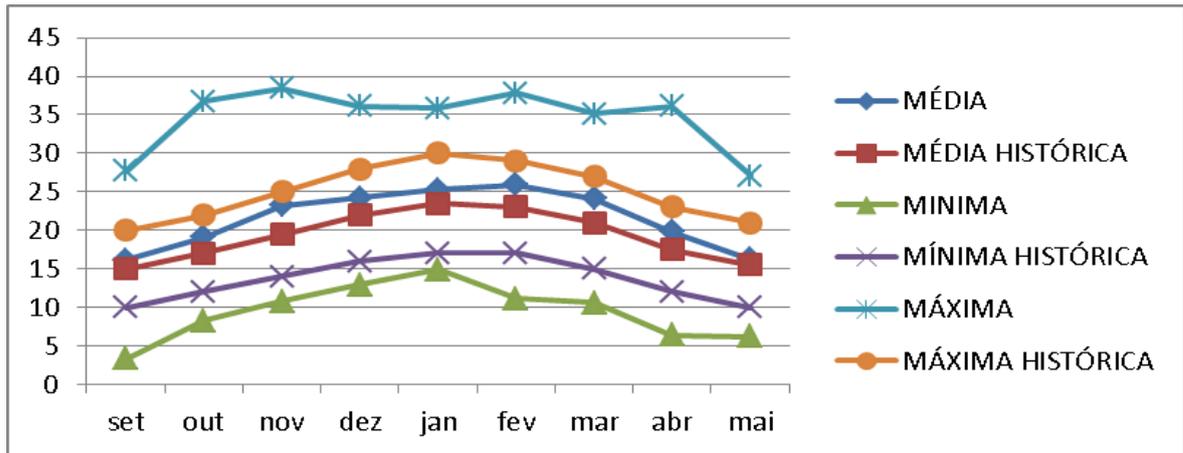


Figura 41 – Temperatura safa 2009/10.

Fonte: IMPE

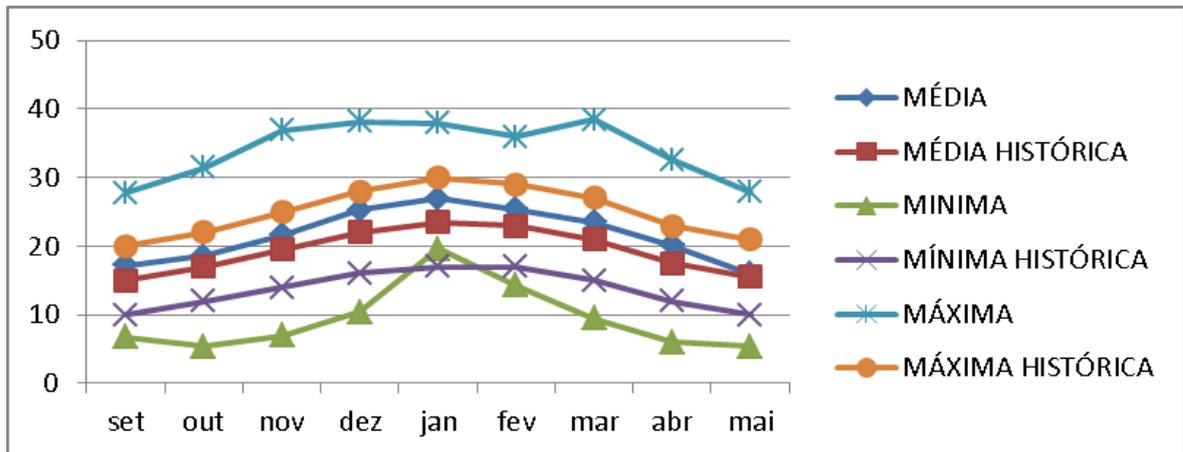


Figura 42 – Temperatura safa 2010/11.

Fonte: IMPE

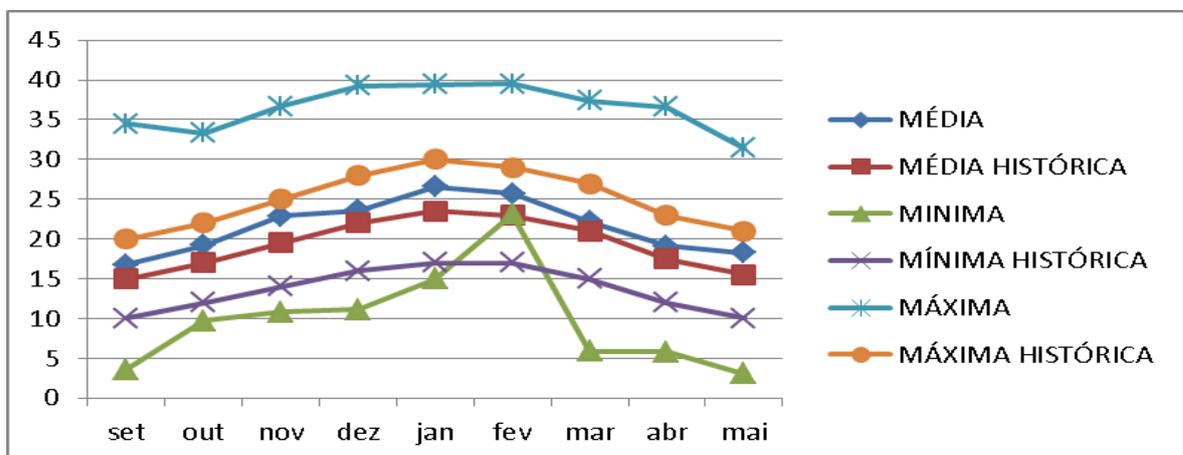


Figura 43 – Temperatura safa 2011/12.

Fonte: IMPE

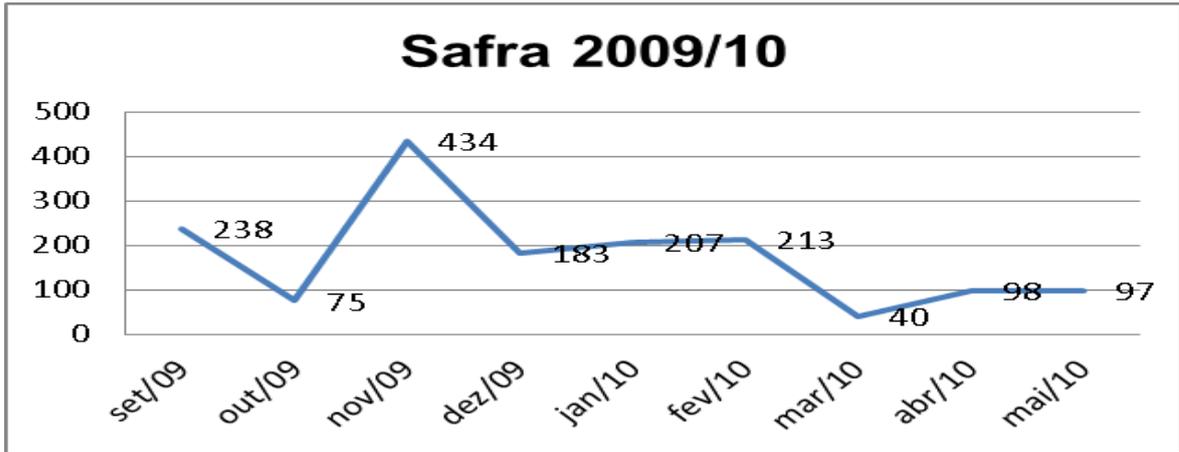


Figura 44 – Pluviosidade Safras 2009/10.

Fonte: IMPE

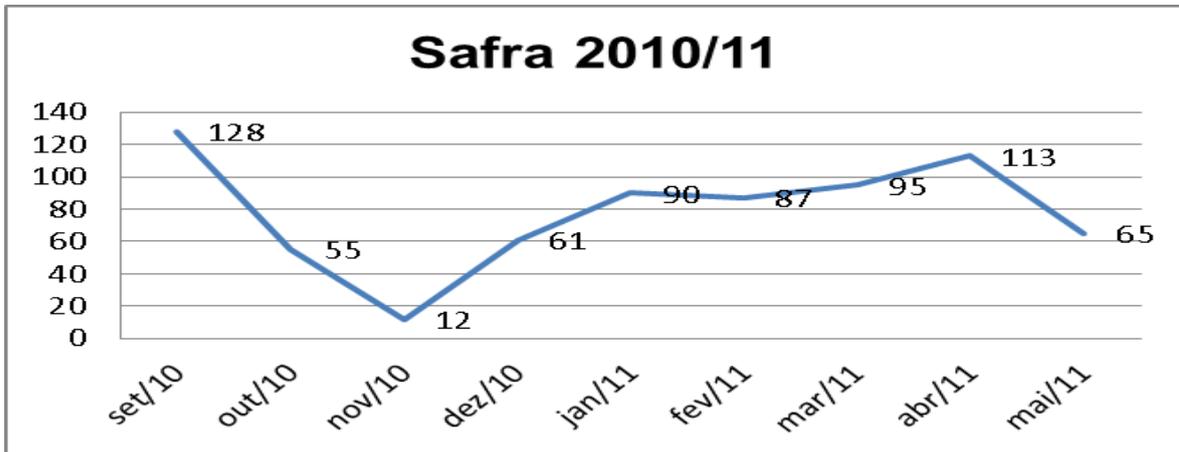


Figura 45 – Pluviosidade Safras 2010/11.

Fonte: IMPE

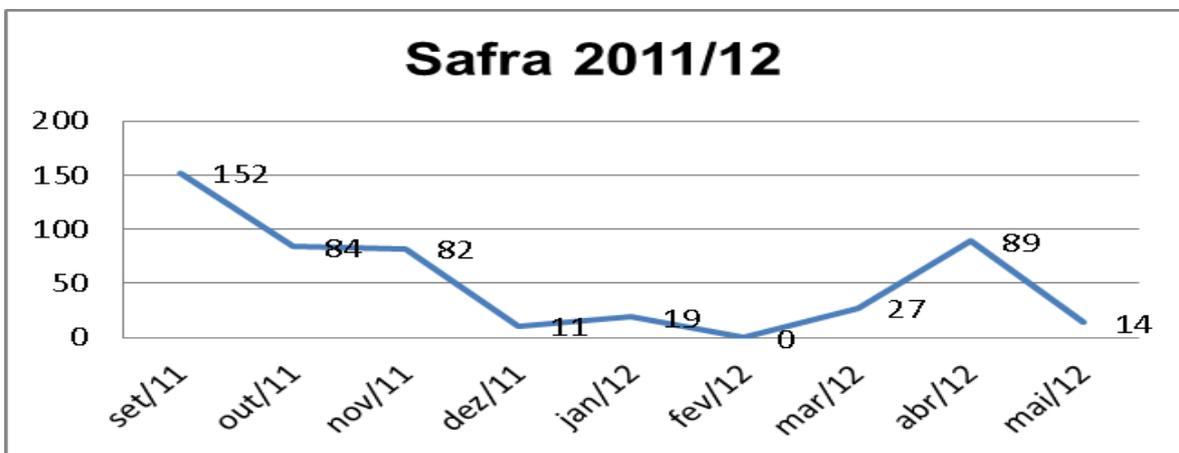


Figura 46 – Pluviosidade Safras 2011/12.

Fonte: IMPE